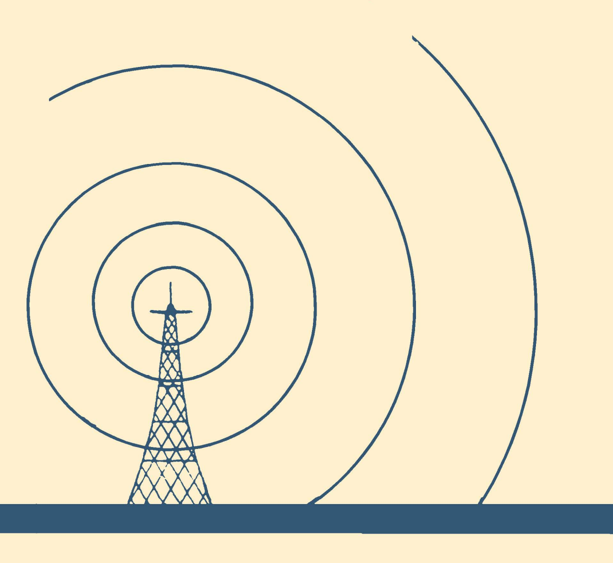


С. КИН

АЗБУКА РАДИОТЕХНИКИ



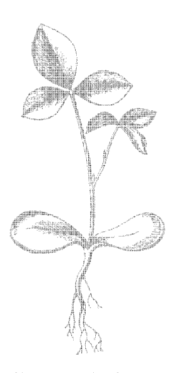


ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

С. КИН

АЗБУКА РАДИОТЕХНИКИ

ИЗДАНИЕ ТРЕТЬЕ
ДОПОЛНЕННОЕ И
ПЕРЕРАБОТАННОЕ





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1949 ЛЕНИНГРАД

ЭС-2-3

В книге описаны в общедоступной форме основные физические явления, которые происходят при радиопередаче и радиоприеме. В ней излагаются принципы работы детекторного приемника, электронной лампы и ее применение для целей усиления и детектирования электрических колебаний, а также принципиальные схемы и свойства наиболее распространенных ламповых приемников.

Книга предназначена для начинающего радиолюбителя и содержит те элементарные теоретические сведения, которые необходимы ему для сознательной практической работы.

ПРЕДИСЛОВИЕ К ТРЕТЬЕМУ ИЗДАНИЮ

Великое изобретение выдающегося русского ученого А. С. Попова проникло во все уголки практической деятельности и культурной жизни людей. В нашей стране, на родине радио, выросло широкое массовое радиолюбительское движение. Советские радиолюбители не только интересуются радио, но, как все советские люди, стремятся применить свои силы для успешного разрешения тех грандиозных задач, которые стоят перед нашей родиной. В годы мирного строительства советские радиолюбители активно участвовали в радиофикации страны, в военные годы они дали советской армии, флоту и партизанскому движению тысячи квалифицированных радистов. Сейчас перед советскими радиолюбителями стоят еще более обширные задачи в деле всемерного содействия дальнейшей радиофикации страны и подготовки резервной армии радистов для наших вооруженных сил.

Для того, чтобы успешно выполнить эти ответственные задачи, нужно изучать радио, нужно овладеть радиотехникой. Настоящая книга, мы надеемся, поможет радиолюбителям сделать первые шаги в этом направлении, познакомиться с самыми основами радиотехники.

«Азбука радиотехники», как показывает само название, предназначена для начинающего радиолюбителя. Однако, в ней начинающий радиолюбитель не найдет практических указаний о том, как устроен тот или иной конкретный приемник и как самому этот приемник сделать. Цель «Азбуки» иная. Когда радиолюбитель начинает практически работать, строить радиоприемник, его работа только тогда будет успешна, когда он будет вести ее сознательно, понимая, что

он делает. А для этого нужно знать основы радио — принципы радиопередачи и радиоприема, знать роль и назначение отдельных частей радиоприемника, понимать явления, которые в нем происходят. Вот эти элементарные теоретические знания, необходимые для сознательной практической работы, и должна дать начинающему радиолюбителю «Азбука».

АВТОР

СОДЕРЖАНИЕ

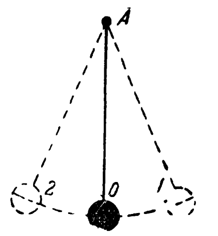
ГЛАВА ПЕРВАЯ

КОЛЕБАНИЯ

1. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

Среди разнообразных движений, которые мы наблюдаем, особое место занимает один распространенный вид движений — именно колебания.

Например, колебания совершают маятник идущих часов, доска качелей, язык колокола и т. д. Одним из наиболее характерных признаков колебательного движения является то, что колеблющееся тело много раз проходит через одно и то же положение то в одну, то в другую сторону и вся картина повторяется через определенные промежутки времени. Нас эти колебательные движения интересуют потому, что основные явления, с которыми приходится сталкиваться в радиотехнике, также носят колебательный характер. Поэтому мы должны прежде всего изучить основные черты колебательных движений. В радиотехнике приходится сталкиваться как с механическими (звуковыми), так и с электрическими колебаниями. Так как в случае механических колебаний все явления проще и нагляднее, то изучение колебательных движений мы начнем с них. Чтобы познакомиться с этими явлениями подробнее, мы рассмотрим, как и почему происходят колебания маятника (все то, что мы скажем о маятнике, в значительной степени относится и к качелям, к языку колокола и т. д.).



Фиг. 1.

Маятник схематически изображен на фиг. 1. Он состоит из стержня и укрепленного на его конце груза; стержень надет на ось *A*, вокруг которой он может вращаться. Для упрощения положим, что маятник не испытывает трения ни в оси, ни со стороны окружающего воздуха. Неподвижный маятник занимает положение *0*, указанное на фигуре сплошными линиями. Это положение называется положением равно-

весия. Теперь отклоним рукой маятник направо до положения *1*, указанного пунктирными линиями. Предоставленный самому себе маятник не останется в этом положении. Под действием силы земного притяжения он начнет опускаться к положению *0* с постепенно возрастающей скоростью. В тот момент, когда маятник придет в точку *0*, его скорость будет наибольшей. В этой точке (в положении равновесия) сила тяжести уже перестанет ускорять движение маятника, так как его груз находится в самой низкой точке, до которой он может опуститься. Однако, хотя сила тяжести и перестала действовать на маятник, но он все же не остановится в точке *0*, так как в этой точке *0* он обладает некоторой скоростью. Ведь ни одно движущееся материальное тело не останавливается только потому, что перестала действовать сила, которая привела его в движение. Например, вагон железной дороги движется после того, как паровоз перестал его толкать, лодка движется еще некоторое время после того, как вы перестали грести, и т. д. Все такие движения, при которых сила уже перестала действовать, и движение происходит только потому, что тело двигалось раньше и не может остановиться сразу, называют обычно «движениями по инерции». Наш маятник также будет продолжать двигаться «по инерции» и будет отклоняться в другую сторону от точки *0*. Но при этом, так как он будет уже подниматься, сила тяжести будет препятствовать этому движению, и оно будет постепенно замедляться. Постепенно замедляя свое движение, маятник дойдет до другого крайнего положения *2* и в нем остановится. Но и в этом положении он не может оставаться неподвижным: под действием силы тяжести он начнет опускаться — дойдет до положения *0*, «по инерции» поднимется дальше до положения *1* и после этого опять пойдет в обратную сторону. Дальше все будет продолжаться так, как мы уже описали — маятник будет двигаться то в одну, то в другую сторону, т. е. будет совершать механические колебания.

Рассмотрим процесс колебаний маятника с точки зрения энергии. Поднятый маятник обладает некоторым запасом энергии (этот запас энергии мы ему сообщили, совершив работу при его подъеме). Такая «энергия положения», т. е. энергия, зависящая от положения тела, носит название потенциальной энергии. Потенциальная энергия маятника тем больше, чем выше он поднят. Следовательно, опускаясь, маятник теряет потенциальную энергию, но зато он

приобретает скорость, а вместе с тем и «энергию движения», или иначе кинетическую энергию. Когда маятник опустится до положения равновесия, он израсходует всю свою потенциальную энергию, но зато будет обладать наибольшей скоростью и наибольшей кинетической энергией. Вся потенциальная энергия превратится в кинетическую. Так как маятник продолжает двигаться дальше, то кинетическая энергия постепенно превращается снова в потенциальную (скорость убывает, но вместе с тем маятник снова поднимается), и когда снова вся кинетическая энергия превратится в потенциальную, маятник окажется на той же высоте, на которую он был поднят в начале движения. Таким образом, механические колебания представляют собой движение, при котором сначала потенциальная энергия превращается в кинетическую, а затем снова кинетическая — в потенциальную и т. д. Полная энергия все время остается постоянной, но вместе с колебаниями тела происходят колебания потенциальной и кинетической энергии — переход одной энергии в другую. Каждый раз, когда маятник проходит через среднее положение, заканчивается переход потенциальной энергии в кинетическую, а в каждом крайнем положении заканчивается обратный переход кинетической энергии в потенциальную.

То время, в течение которого маятник снова возвращается к исходному состоянию, например проделает путь от положения *1* через *0* к *2* и обратно через *0* к *1*, называется периодом колебания маятника. Ясно, что путь от одного крайнего положения *1* до другого *2* он проделает за вдвое меньший промежуток времени, и поэтому время, в которое маятник проходит от одного крайнего положения до другого, равно полупериоду колебаний маятника. Период колебаний маятника зависит от его размеров (в простейшем случае только от длины — чем длиннее маятник, тем больше его период, т. е. медленнее его колебания). Так, например, в часах с маятником длина маятника обычно подбирается так, чтобы его период как раз равнялся одной секунде (или половине, трети и т. д. секунды).

Кроме периода важной характеристикой колебаний маятника является величина размаха его колебаний, т. е. расстояние от одного крайнего положения до положения равновесия. Величина размаха называется амплитудой колебаний.

Мы выяснили, почему маятник совершает колебания, и установили два основных понятия, служащих для характери-

стики колебаний, именно — период и амплитуду колебаний. Все это нам понадобится при рассмотрении электрических колебаний, которые имеют много общего с механическими.

2. ЕМКОСТЬ И САМОИНДУКЦИЯ

Прежде чем переходить к рассмотрению электрических колебаний, напомним вкратце, какую роль играют в электрических цепях емкость и самоиндукция.

Всякая пара проводников обладает, как известно, некоторой взаимной емкостью. Это значит, что для того, чтобы зарядить эти проводники до некоторой разности потенциалов между ними, им нужно сообщить некоторый определенный заряд — одному проводнику положительный, а другому — отрицательный. Чем больше емкость проводников, тем больший заряд нужно им сообщить, чтобы зарядить их до определенной разности потенциалов.

Взаимная емкость двух проводников зависит от размеров проводников и расстояния между ними. Чем больше размеры проводников и чем меньше расстояние между ними, тем больше их взаимная емкость. Поэтому в тех случаях, когда требуется создать большую взаимную емкость между проводниками, этим проводникам придают форму пластин с большой поверхностью, расположенных возможно ближе одна к другой. Такие специальные конструкции проводников с большой взаимной емкостью называются конденсаторами. Конденсаторы, в которых промежуток между пластинами не заполнен каким-либо специальным диэлектриком (непроводником электричества) и пластины разделены только воздухом, называются воздушными. Диэлектрик, введенный между пластинами конденсатора, увеличивает его емкость или позволяет при той же емкости конденсатора уменьшить его размеры. Поэтому часто применяют конденсаторы со специальным диэлектриком между пластинами. В зависимости от рода примененного диэлектрика различают конденсаторы стеклянные, слюдяные, бумажные, масляные и т. д.

Взаимная емкость проводников и емкость конденсаторов измеряется в специальных единицах. В практической системе единиц единицей емкости служит фарада (обозначается *ф*). Однако, так как фарада представляет собой очень большую емкость, то на практике применяются миллионные доли фарады или микрофарада (обозначается *мкф*) и миллионные доли микрофарады (обозначаются *мкмкф* или

пкф). Применяется и другая единица емкости — сантиметр емкости, причем 1 *мкмкф* = 0,9 *см* емкости.

Таким образом

$$1\ \textit{ф} = 1 \cdot 10^6\ \textit{мкф} = 1 \cdot 10^{12}\ \textit{мкмкф}\ (\text{или}\ \textit{пкф}) = 9 \cdot 10^{11}\ \textit{см}.$$

Всякая система неподвижных электрических зарядов обладает некоторой энергией, зависящей от величины зарядов и их взаимного расположения. Это — «энергия положения» электрических зарядов, или электростатическая энергия. Следовательно, заряжая конденсатор, мы сообщаем ему некоторое количество электростатической энергии. Эта энергия создается за счет работы того источника электричества, при помощи которого мы заряжаем конденсатор.

Когда конденсатор включен в цепь, питаемую постоянным током, то при включении источника тока конденсатор зарядится до разности потенциалов, равной напряжению включенного источника, и дальнейший ток в цепи прекратится, так как напряжение источника как раз уравновесится напряжением на обкладках конденсатора. Следовательно, постоянный ток через конденсатор проходить не может. Если же мы присоединим к конденсатору источник переменного тока, то конденсатор будет то заряжаться, то разряжаться, и в цепи конденсатора все время будет проходить переменный ток. Следовательно, конденсатор пропускает через себя переменный ток. Сила этого тока будет тем больше, чем больший заряд нужен для того, чтобы зарядить конденсатор до напряжения, равного напряжению источника, т. е. сила тока будет тем больше, чем больше емкость конденсатора. Вместе с тем сила тока заряда и разряда конденсатора зависит и от того, как быстро он заряжается и разряжается (так как сила тока есть количество электричества, проходящее за единицу времени). Следовательно, чем быстрее происходят изменения напряжения источника переменного тока, тем сильнее ток, проходящий через конденсатор.

Хотя конденсатор и пропускает переменный ток, но он известным образом ограничивает силу этого переменного тока, т. е. представляет собой для этого тока известное сопротивление, так называемое емкостное сопротивление. Из сказанного выше следует, что емкостное сопротивление конденсатора переменному току будет тем меньше, чем больше емкость конденсатора и чем быстрее происходят изменения переменного напряжения, питающего конденсатор.

Переходим теперь к роли самоиндукции. Как известно, всякое изменение магнитного поля вокруг проводника вызывает появление электродвижущей силы в проводнике. Само это явление носит название явления электромагнитной индукции, а возникающая в проводнике электродвижущая сила (кратко э. д. с.) называется э. д. с. индукции. Это явление индукции происходит не только тогда, когда изменяется постороннее магнитное поле, в которое помещен проводник, но и в том случае, когда изменяется собственное магнитное поле, созданное током, проходящим по проводнику. Всякое изменение тока в проводнике вызывает изменение магнитного поля вокруг проводника, а изменение магнитного поля действует обратно на провод и создает в нем добавочную э. д. с. Это явление носит название явления самоиндукции, а возникающая вследствие этого явления добавочная э. д. с. носит название э. д. с. самоиндукции. Чем сильнее магнитное поле, возникающее вокруг проводника, по которому проходит ток, тем сильнее сказывается явление самоиндукции и тем больше э. д. с. самоиндукции, возникающая при том же самом изменении силы тока в проводе. Величина, характеризующая связь между изменением силы тока в цепи и возникающей при этом э. д. с. самоиндукции, носит название индуктивности цепи или коэффициента самоиндукции. Чем больше э. д. с самоиндукции, возникающая в данной цепи при одном и том же изменении силы тока, тем больше индуктивность (коэффициент самоиндукции) этой цепи.

Из сказанного выше следует, что чем сильнее магнитное поле, возникающее вокруг провода (при данной силе тока в нем), тем больше индуктивность этого провода. А так как магнитное поле, создаваемое катушкой, сильнее, чем магнитное поле прямого провода (при одинаковой силе тока в проводе и в катушке), то и индуктивность катушки всегда больше, чем индуктивность прямого провода. Поэтому, когда нужно создать цепь с большой индуктивностью, вместо прямого провода применяют провода, свернутые в катушку. Эти катушки носят название «катушек самоиндукции». Чем больше число витков в катушке самоиндукции, тем больше индуктивность этой катушки.

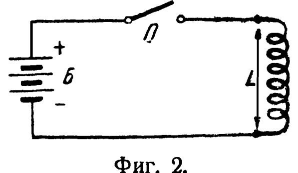
Магнитное поле, создаваемое катушкой, можно усилить, а значит — индуктивность катушки можно увеличить, помещая внутрь катушки сердечник из железа или какого-либо другого магнитного материала. Сейчас существует большое

число различных магнитных материалов (сплавов, спрессованных порошков и т. д.), которые применяются для изготовления сердечников катушек самоиндукции с целью увеличения их индуктивности.

Для измерения индуктивности цепей и, в частности, катушек самоиндукции применяются специальные единицы. В практической системе единиц единицей индуктивности служит г е н р и (обозначается *гн*). Для измерения малых индуктивностей применяются тысячные доли генри, или миллигенри (обозначается *мгн*), и миллионные доли генри, или микрогенри (обозначается *мкгн*). Применяется и другая единица — с а н т и м е т р и н д у к т и в н о с т и, причем 1 *мкгн* = 1 000 *см* индуктивности. Таким образом,

$$1\ \text{гн} = 1 \cdot 10^3\ \text{мгн} = 1 \cdot 10^6\ \text{мкгн} = 1 \cdot 10^9\ \text{см}.$$

Выясним, какую роль играет самоиндукция при появлении или исчезновении тока в цепи. Рассмотрим цепь, состоящую из батареи *Б*, катушки самоиндукции *L* и ключа *П* (фиг. 2). В тот момент, когда ключ *П* замкнет цепь, в ней возникнет электрический ток, с появлением которого вокруг катушки появится и магнитное поле; изменения этого магнитного поля будут создавать в катушке э. д. с. самоиндукции.



Фиг. 2.

Направление э. д. с. самоиндукции зависит от того, как (в каком направлении) изменяется электрический ток в катушке. Если ток в катушке появляется, то э. д. с. самоиндукции направлена против тока и противодействует его увеличению. Если ток в катушке исчезает, то э. д. с. самоиндукции направлена так же, как и электрический ток, и, следовательно, стремится поддержать электрический ток, т. е. препятствует его прекращению. Поэтому самоиндукция в цепи препятствует любому изменению силы электрического тока в этой цепи. Если бы в цепи не было самоиндукции, то электрический ток в цепи появлялся и исчезал мгновенно. Присутствие же самоиндукции приводит к тому, что изменения силы тока в электрической цепи могут происходить только постепенно, но не мгновенно.

Мы видим, что самоиндукция для случая движения электричества (т. е. для электрического тока) играет в известном смысле такую же роль, как инерция для случая механического движения. Подобно тому, как инерция препятствует

внезапному изменению скорости движения тела и поддерживает это движение при прекращении действия сил, самоиндукция препятствует внезапному изменению силы электрического тока. Не следует, однако, думать, что самоиндукция и инерция это одно и то же и что явление самоиндукции вызывается инерцией отдельных движущихся зарядов электричества. Несмотря на внешнее сходство, явления самоиндукции и инерции по существу различны. Самоиндукцию можно представлять себе как инерцию, но не отдельных электрических зарядов, а всего электрического тока в целом. Различие это не только принципиальное, но и практическое. В то время как инерцию тел мы не можем изменять по своему усмотрению, самоиндукцию, т. е. «инерцию электрического тока», которая связана с формой проводников, мы можем изменять в широких пределах, изменяя форму проводников. Так, например, свивая провод в катушку, мы увеличиваем индуктивность цепи. Наоборот, располагая рядом два провода, по которым один и тот же ток проходит в противоположных направлениях, мы можем достигнуть того, что магнитные поля этих двух токов будут взаимно уничтожаться и цепь будет обладать очень малой индуктивностью (так называемая *бифилярная обмотка*). Сходны, таким образом, не столько самые явления, сколько их роль при изменении силы тока и скорости движения.

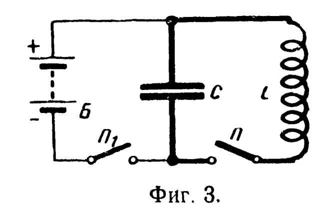
Как мы видели, явление самоиндукции тесно связано с существованием магнитного поля вокруг проводника, по которому проходит электрический ток. В этом магнитном поле сосредоточена и вся энергия «движения электричества», т. е. энергия электрического тока. Эта магнитная энергия соответствует кинетической энергии в случае механического движения.

Так как наличие самоиндукции в цепи сказывается только при изменении силы тока в цепи, то в случае постоянного тока самоиндукция не играет никакой роли, кроме моментов включения и выключения тока. В случае же переменного тока, когда изменения силы тока происходят все время, все время сказывается и наличие самоиндукции в цепи. Явление самоиндукции в случае переменного тока приводит к тому, что самоиндукция ограничивает силу тока в цепи и в этом смысле играет для переменного тока такую же роль, какую обычное сопротивление играет для постоянного тока. Подобно тому как в омическом сопротивлении при прохождении по нему тока возникает падение напряжения, в цепи с самоиндукцией при прохождении по ней переменного тока также

возникает нечто подобное падению напряжения—э. д. с. самоиндукции, противодействующая приложенным извне напряжениям. Поэтому для переменного тока самоиндукция представляет собой «индуктивное сопротивление». Электродвижущая сила самоиндукции тем больше, чем больше индуктивность цепи и чем быстрее происходят изменения силы тока. Следовательно, и величина индуктивного сопротивления тем больше, чем больше индуктивность цепи и чем быстрее происходят изменения силы тока в ней.

3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

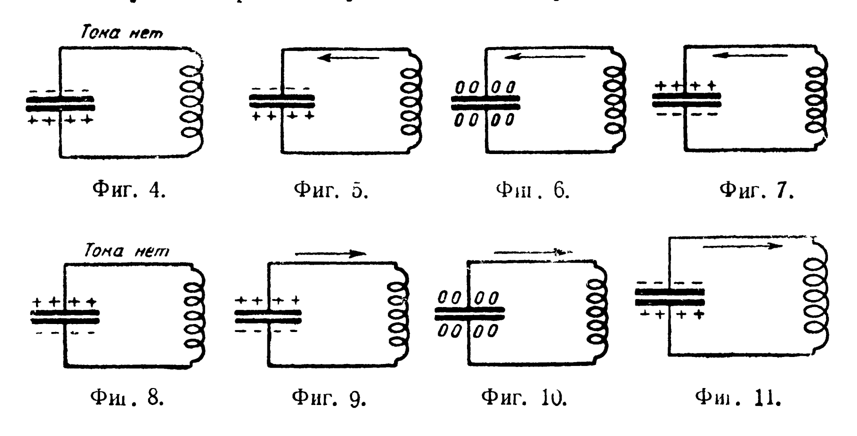
Рассмотрим цепь, состоящую из конденсатора *C* и катушки самоиндукции *L* (фиг. 3), и допустим сначала, что эта цепь не обладает омическим сопротивлением. Цепь эта может замыкаться и размыкаться при помощи выключателя *П*. Разомкнем сначала эту цепь и зарядим конденсатор *C* при помощи батареи *Б* до какого-либо определенного напряжения, замкнув для этого батарею на конденсатор выключателем $П_1$. Заряжая конденсатор, мы сообщаем ему некоторую электростатическую энергию, соответствующую потенциальной энергии в случае механических колебаний. Если мы после этого отсоединим батарею от конденсатора, то на обкладках конденсатора останется какой-то определенный электрический заряд. Что же произойдет с этим зарядом, если мы при помощи выключателя *П* замкнем теперь заряженный конденсатор на катушку самоиндукции *L*?



Фиг. 3.

Если бы в цепи не было самоиндукции, то в ней сразу возник бы сильный электрический ток и конденсатор мгновенно разрядился бы, т. е. разноименные электрические заряды на обкладках конденсатора чрезвычайно быстро скомпенсировали друг друга. Но самоиндукция, как мы уже знаем, препятствует мгновенному установлению электрического тока, и следовательно, сила тока будет увеличиваться постепенно, а вместе с тем и конденсатор будет разряжаться постепенно. Итак, если в начальный момент конденсатор был заряжен, а тока в цепи не было (это состояние схематически изображено на фиг. 4), то благодаря присутствию самоиндукции в цепи конденсатор будет разряжаться постепенно, а сила тока при

этом будет постепенно увеличиваться. (Это состояние схематически изображено на фиг. 5; направление тока, т. е. направление движения положительных зарядов, указано стрелками.) Электростатическая энергия заряда конденсатора будет постепенно превращаться в магнитную энергию тока. Очевидно, что наступит момент, когда конденсатор разрядится до конца (фиг. 6), и в этот момент ток в цепи (который к этому моменту достиг наибольшей силы, так как вся электростатическая энергия превратилась в магнитную) должен был бы прекратиться, если бы в цепи не было самоиндукции. Но самоиндукция препятствует мгновенному исчезновению тока,



Фиг. 4. Фиг. 5. Фиг. 6. Фиг. 7.

Фиг. 8. Фиг. 9. Фиг. 10. Фиг. 11.

и поэтому после того, как конденсатор разрядится, ток все же будет продолжать итти по цепи в том же направлении. Значит, та обкладка, на которой раньше был положительный заряд, заряжается отрицательно, а другая, на которой раньше был отрицательный заряд, теперь заряжается положительно. Другими словами, благодаря самоиндукции, которая препятствует исчезновению тока, конденсатор будет заряжаться в обратном направлении (фиг. 7). Этот противоположный заряд будет создавать напряжение на обкладках конденсатора, вместе с тем ток в цепи будет постепенно уменьшаться—магнитная энергия снова будет превращаться в электрическую. В конце концов ток прекратится вовсе, а конденсатор окажется заряженным до того же напряжения, что и вначале (потому что вся энергия снова превратилась в электростатическую, т. е. в энергию заряда), но только знак этого заряда будет уже обратный (фиг. 8). Так как конденсатор

опять зарядился, то он снова начнет разряжаться через самоиндукцию, но при этом ток в цепи будет проходить уже в обратном направлении (фиг. 9). По прошествии некоторого времени конденсатор разрядится совершенно (фиг. 10). При этом снова вся электростатическая энергия заряда превратится в магнитную энергию тока. Но так как ток в цепи не может прекратиться мгновенно, то он будет, постепенно уменьшаясь, заряжать конденсатор опять зарядом того же знака, как вначале (фиг. 11). В конце концов конденсатор вновь зарядится, а ток прекратится, и мы вернемся к состоянию, изображенному на фиг. 4. Снова вся энергия превратится в электростатическую. После этого все явление будет повторяться снова и снова. Таким образом, в цепи, состоящей из емкости и самоиндукции, происходит колебательное движение электрических зарядов то в одну, то в другую сторону, т. е. электрические колебания.

Электрические контуры, в которых могут возникать подобные колебания, называют колебательными контурами. Цепь, состоящая из емкости и самоиндукции, представляет собой, следовательно, колебательный контур.

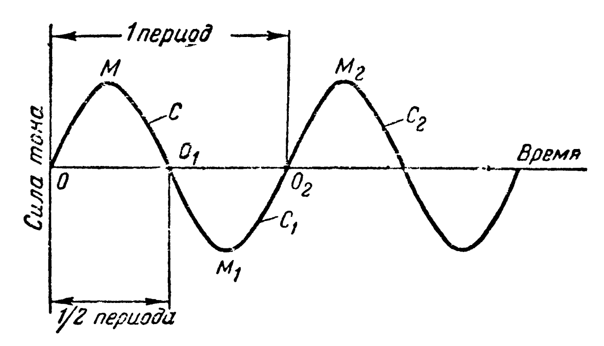
Сравнивая электрические колебания с колебаниями маятника, мы сразу видим, как много между ними общего. Так же, как маятник, отклоненный от положения равновесия, совершает механические колебания, в электрической цепи, состоящей из емкости и самоиндукции, вследствие нарушения «электрического равновесия» (наличия начального заряда конденсатора) происходят электрические колебания. Изменения напряжения на конденсаторе и силы тока в контуре происходят аналогично изменениям отклонения маятника и его скорости. Так же, как в маятнике при колебаниях происходит непрерывный переход энергии из потенциальной в кинетическую и обратно, в колебательном контуре происходит непрерывный переход энергии из электростатической в магнитную и обратно. Так же, как в случае маятника мы можем сообщить начальную энергию, отклонив маятник, в случае колебательного контура мы может сообщить эту начальную энергию, зарядив конденсатор. Но чтобы нарушить равновесие маятника, мы можем не отклонить его, а толкнуть, т. е. сообщить ему начальную скорость. После этого маятник также будет совершать колебания за счет той начальной кинетической энергии, которая сообщена ему при толчке. Аналогично мы можем нарушить «электрическое равновесие» колебательного контура, создавая не заряд на обкладках конденсатора,

а ток в катушке самоиндукции. Если затем этот ток резко выключить, не размыкая контура, то в результате этого «электрического толчка» в контуре возникнут электрические колебания. Колебания эти будут совершенно подобны рассмотренным выше. Различие в способе возбуждения колебаний никак не скажется на дальнейшем процессе. Вся разница заключается лишь в той форме, в которой сообщена контуру начальная энергия — в одном случае в виде электростатической энергии начального заряда конденсатора, в другом — в виде магнитной энергии начального тока в катушке.

Колебания, которые возникают в результате начального отклонения или начального толчка и которые происходят за счет сообщенной системе начальной энергии, называют **собственными колебаниями** этой системы в отличие от вынужденных колебаний, с которыми нам придется встретиться в дальнейшем.

4. ГРАФИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ

Мы проследили, в какой последовательности наступают одно за другим различные состояния в цепи, в которой происходят электрические колебания. Эти различные последова-



Фиг. 12.

тельные состояния или, как их называют иначе, «фазы колебаний» мы изобразили на фиг. 4—11, но изображать таким образом отдельные состояния цепи неудобно. Гораздо проще и удобнее изобразить графически весь ход колебаний в цепи. Для этой цели проведем две перпендикулярные оси (фиг. 12) и на одной из них — горизонтальной — будем откладывать

время в каком-либо условном масштабе (например, так, что каждый миллиметр соответствует стотысячной доле секунды), а на другой—вертикальной—силу тока в цепи также в условном масштабе (например, так, что каждый миллиметр соответствует 1 *ма*). При этом ток, идущий в одном направлении, мы будем откладывать вверх от оси, а идущий в другом — вниз от оси. Затем изобразим непрерывной линией все изменения, которые происходят с током в цепи, так, чтобы каждая точка этой непрерывной линии соответствовала той силе тока, который в данный момент проходит в цепи. В начальный момент, когда мы замкнули цепь (точка O), ток в цепи отсутствует, т. е. сила тока равна нулю. Этому соответствует точка O на горизонтальной оси. Затем ток начнет постепенно возрастать, и кривая, изображающая силу тока в цепи, должна постепенно подниматься. В некоторый момент сила тока достигает наибольшей величины (точка M на кривой) и затем начинает уменьшаться. Поэтому, начиная с точки M, кривая будет опускаться и в конце концов опустится в точке O_1 до горизонтальной оси (когда ток в цепи упадет до нуля). Но теперь, как мы уже выяснили, конденсатор окажется заряженным противоположным зарядом, т. е. с этого момента в цепи появится ток противоположного направления, который постепенно начнет увеличиваться.

Ток обратного направления мы, как условлено, будем считать отрицательным и будем откладывать вниз от горизонтальной оси. Начиная от точки O_1, кривая будет опускаться вниз. Затем ток достигнет наибольшей величины в этом направлении (точка M_1) и вновь начнет уменьшаться. Далее, начиная от точки M_1, кривая опять поднимается, пока снова не достигнет оси времени (точка O_2). В этот момент ток падает до нуля, и мы имеем в цепи точно то же состояние, в котором она находилась в начале процесса (точка O). Начиная с точки O_2, все фазы колебаний повторяются, и наша кривая пойдет дальше так же, как и вначале. Мы получим таким образом кривую, которая называется с и н у с о и д о й и изображена на фиг. 12. Кривая, которую мы получим, изображает графически не только изменения силы тока в колебательном контуре, но и изменения силы тока в обычной цепи переменного тока, ибо переменный ток, проходящий в электрических сетях, представляет собой также электрические колебания, но полученные при помощи электрических машин, а не так, как мы только что описывали.

5. ПЕРИОД И ЧАСТОТА КОЛЕБАНИЙ

Разбирая колебания маятника, мы уже указывали, какое время в процессе колебаний называется периодом колебаний. Мы так назвали тот промежуток времени, в течение которого колеблющееся тело проходит через все промежуточные положения и вновь возвращается в свое исходное состояние. Очевидно, что в случае электрических колебаний периодом колебаний следует назвать то время, в течение которого электрический ток в контуре пройдет следующие состояния: начиная от нуля, будет возрастать в одну сторону, дойдет до наибольшего значения, вновь спадет до нуля, начнет возрастать в противоположном направлении, достигнет наибольшего значения в этом направлении и вновь спадет до нуля. Другими словами, периодом колебаний нужно назвать то время, в течение которого контур, находящийся в состоянии, указанном на фиг. 4, пройдет через все промежуточные состояния (фазы), указанные на фиг. 5—11, и снова вернется в прежнее состояние, изображенное на фиг. 4.

Очевидно, что в рассматриваемом процессе время, в течение которого система проходит через все промежуточные состояния и снова возвращается в исходное состояние, будет одним и тем же, независимо от того, какое состояние мы примем за исходное. Так, например, время, отделяющее состояние O_2 (на фиг. 12) от состояния O, или состояние M_2 от состояния M, или, наконец, состояние C_2 от состояния C, всегда одно и то же, и это и есть то время, которое мы называли периодом процесса.

Такие процессы, при которых любое состояние системы повторяется через одинаковые промежутки времени, называются **периодическими процессами**. Рассмотренные нами движения маятника или колебания в электрическом контуре являются периодическими процессами, но как мы увидим дальше, не всякие колебания являются, однако, периодическими.

Чем короче период колебаний, чем меньше время, в течение которого процесс пройдет через все промежуточные фазы и снова вернется в исходное положение, тем быстрее происходят колебания. Можно судить о скорости колебаний и по тому, сколько раз весь процесс успеет повториться за одну секунду.

Число, которое показывает, сколько раз в секунду повторяется весь процесс, называется **частотой колебаний**.

Очевидно, процесс успеет за 1 сек. повториться столько раз, сколько раз период колебаний содержится в 1 сек. Значит, период и частота колебаний связаны между собой соотношением $f = \frac{1}{T}$, где f — частота, т. е. число колебаний в секунду, а T — продолжительность одного периода в секундах. Например, если мы знаем, что период колебаний составляет $^1/_{1000}$ долю секунды, то за 1 сек. процесс повторится тысячу раз, и следовательно, частота колебаний будет равна 1 000 периодов в секунду. Таким образом частота колебаний измеряется числом периодов в секунду. Вместо слова «период» часто применяют слово «цикл» («цикл» обозначает совокупность всех фаз периодического процесса, через которые процесс проходит за время одного периода). Говорят, что частота составляет «столько-то циклов в секунду» или сокращенно *цк/сек.* Когда частоты, с которыми приходится иметь дело, велики (а это бывает часто), то частоту характеризуют не числом циклов в секунду, а числом килоциклов, т. е. тысяч циклов в секунду (сокращенно *кцк/сек*), или даже мегациклов, т. е. миллионов циклов в секунду. Наконец, для того, чтобы не повторять всегда слов «циклов в секунду», для этой единицы частоты введено специальное название «г е р ц» (по имени знаменитого физика Генриха Герца, первого получившего электромагнитные волны). Вместо того, чтобы говорить, например, «частота в 500 циклов в секунду», говорят «частота в 500 герц» (сокращенно «*гц*»). Соответственно вместо килоциклов в секунду и мегациклов в секунду говорят «килогерц» (сокращенно «*кгц*») и «мегагерц» (сокращенно «*мггц*»).

В радиотехнике приходится иметь дело как с медленными, так и с быстрыми колебаниями. Медленные колебания, частота которых меньше 20 000 *гц*, называются колебаниями н и з к о й ч а с т о т ы; колебания, частота которых выше 20 000 *гц*, называются колебаниями в ы с о к о й ч а с т о т ы. По сути и те и другие колебания представляют собой одно и то же явление, но различают их потому, что они применяются для различных целей, и пользоваться ими приходится по-разному.

6. ЗАТУХАНИЕ КОЛЕБАНИЙ

Как долго будут продолжаться собственные колебания, возникшие в результате начального толчка или начального отклонения? Ответ на этот вопрос будет нагляднее и проще

(как и на все другие вопросы), если мы рассмотрим его на примере механических колебаний маятника.

Итак, если мы отклоним маятник от положения равновесия, то он начнет колебаться. Но как долго будут продолжаться эти колебания? Из того рассуждения, которое мы привели выше, следует, что колебания маятника будут продолжаться как угодно долго. Действительно, если вся потенциальная энергия, которую мы сообщим маятнику, превратится в кинетическую, а затем снова полностью перейдет в потенциальную, то маятник к концу первого полупериода поднимется на такую же высоту, на какую он был поднят вначале. И каждый раз он будет достигать той же высоты, с которой он начал движение. Следовательно, маятник будет совершать колебания с постоянной амплитудой. Однако, в действительности это не так. Легко убедиться на опыте, что размахи колебаний маятника не остаются постоянными, а постепенно уменьшаются. Мы получили колебания с постоянными размахами только вследствие предположения, что маятник не встречает сопротивления своему движению, и потому энергия, которую мы ему вначале сообщили, не расходуется при движении. В действительности при всяком движении часть энергии расходуется на преодоление трения, которое никогда не может быть полностью устранено (эта часть энергии будет превращаться в тепло). Поэтому энергия маятника в действительности будет убывать при колебаниях, и при каждом колебании он будет подниматься на все меньшую и меньшую высоту. Таким образом, вследствие того, что движению маятника будут оказывать сопротивление окружающий его воздух и трение в оси, на которой маятник подвешен, отклонения маятника будут постепенно затухать и в конце концов прекратятся совершенно. Такие колебания, которые происходят не с постоянными, а с постепенно убывающими размахами и в конце концов вовсе прекращаются, называются *затухающими колебаниями*, в отличие от рассмотренных нами раньше колебаний с постоянной амплитудой, которые называются *незатухающими*.

Ясно, что колебания маятника будут затухать тем сильнее, чем большее сопротивление испытывает маятник при своем движении. Если маятник будет качаться под колпаком, из которого удален воздух, и ось маятника будет сделана так тщательно, что трение в ней будет весьма мало, то колебания маятника будут затухать очень медленно. Если мы поместим маятник в воду, то она будет оказывать движению маятника

большое сопротивление, и колебания маятника будут затухать быстро.

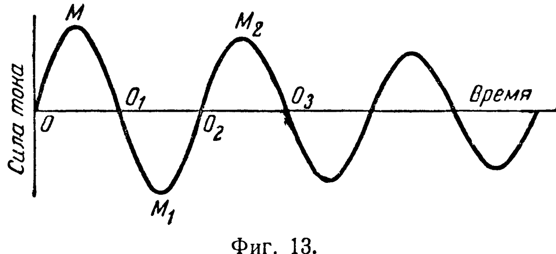
Такую же картину мы получим и в случае электрических колебаний. Мы считали до сих пор, что колебательный контур состоит только из емкости и самоиндукции. Но в действительности всякий электрический контур обладает также и сопротивлением, хотя бы потому, что провода, из которых сделана катушка самоиндукции и которыми части контура соединены между собой, оказывают сопротивление электрическому току. На преодоление этого сопротивления будет постепенно затрачиваться та энергия, которая сообщена контуру (энергия будет превращаться в тепло — нагревать проводники). Следовательно, собственные электрические колебания, возникающие в колебательном контуре, не будут продолжаться вечно, они будут постепенно затухать и в конце концов прекратятся вовсе. Собственные колебания в колебательном контуре всегда будут затухающими.

Если мы хотим такие затухающие электрические колебания изобразить графически, то нужно иметь в виду, что амплитуда этих колебаний (т. е. те наибольшие значения, которых достигает сила тока в контуре или напряжение на обкладках конденсатора) не будут оставаться постоянными, а будут постепенно убывать. Тот график, который мы приводили раньше (фиг. 12), изображает колебания с постоянной, неубывающей амплитудой, т. е. колебания незатухающие. Графическое же изображение затухающих колебаний приведено на фиг. 13.

Ясно, что и в случае электрических колебаний так же, как и в случае колебаний маятника, затухание этих колебаний может происходить быстрее или медленнее. Это будет зависеть от того, как велико сопротивление того колебательного контура, в котором они происходят. Если сопротивление в контуре мало, то колебания в контуре будут слабо затухающими. Графическое изображение таких слабозатухающих колебаний приведено на фиг. 14,*А*; если же сопротивление велико, то колебания будут сильно затухающими (фиг. 14,*Б*).

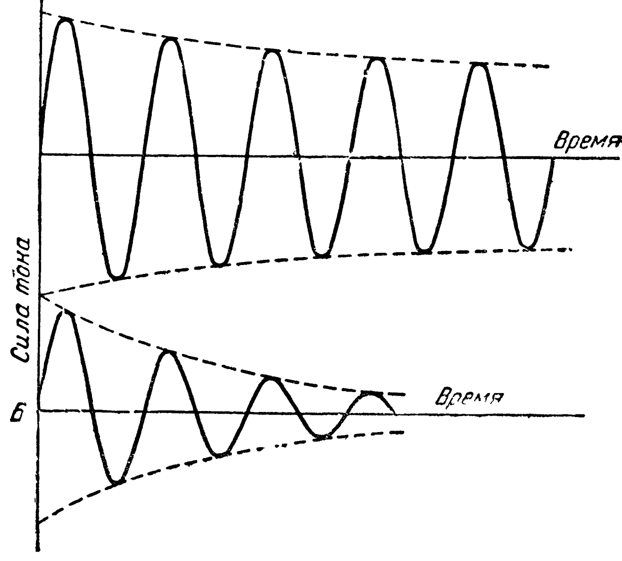
Рассматривая внимательно процесс затухающих колебаний (фиг. 13), мы можем заметить одно обстоятельство, отличающее эти колебания от незатухающих. Именно, мы обнаружим, что состояния колебательного движения не будут снова повторяться при затухающем колебании. Действительно, состояние, соответствующее наибольшей силе тока *М*, уже никогда не повторится, так как сила тока уже никогда не достигнет этого значения. Точно так же состояние, соответствую-

щее O, никогда не повторится, так как в положении O_2 хотя сила тока и будет снова равна нулю, — напряжение на обкладках конденсатора (в этот момент наибольшее) вслед-



Фиг. 13.

ствие затухания уже не достигнет того значения, которое оно имело в положении O. Таким образом, затухающие колебания уже не являются периодическим процессом, так как при



Фиг. 14.

затухающих колебаниях состояния не повторяются точно. Но если колебания затухают медленно, то состояния все же приблизительно повторяются. Поэтому, хотя затухающее колебание не является периодическим процессом, мы можем гово-

рить о периоде затухающего колебания, понимая под этим то время, в течение которого состояние приблизительно повторяется, т. е. время от 0 до 0_2 или от M до M_2 (фиг. 13).

7. ПЕРИОД СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ

Посмотрим теперь, от чего будет зависеть период или частота собственных колебаний, возникающих в колебательном контуре. Вспомним, как происходят собственные колебания в контуре: конденсатор контура постепенно разряжается через катушку самоиндукции. Чем больше индуктивность этой катушки, тем медленнее будет возрастать ток в контуре и тем медленнее будет происходить разряд конденсатора; следовательно, чем больше индуктивность контура, тем медленнее будут происходить колебания в нем, тем меньше будет частота собственных колебаний в контуре. С другой стороны, чем больше емкость конденсатора при данной самоиндукции в контуре, тем больше пройдет времени, пока он окончательно разрядится, и, следовательно, тем меньше будет частота собственных колебаний в контуре.

Итак, чем больше будет емкость и индуктивность в колебательном контуре, тем медленнее будут колебания в этом контуре, т. е. тем меньше будет частота собственных колебаний в контуре, или тем больше будет период этих колебаний. Но период колебаний растет медленнее, чем величина индуктивности или емкости в контуре. Зависимость периода собственных колебаний от величин индуктивности катушки и емкости конденсатора выражается так называемой формулой Томсона $T = 6{,}3\sqrt{LC}$, где L — индуктивность в генри, а C — емкость в фарадах. Следовательно, период колебаний пропорционален квадратному корню из произведения индуктивности и емкости. Это значит, что если произведение емкости и индуктивности контура увеличивается, например в 4 раза, то период увеличивается только вдвое; если произведение емкости и индуктивности увеличивается в 9 раз, то период возрастает только в 3 раза и т. д. Эта численная связь между изменением емкости или индуктивности и соответствующим изменением периода колебаний нам понадобится в дальнейшем, когда мы будем говорить о настройке приемника.

В то время как величина индуктивности или емкости существенно влияет на период колебаний, величина омического сопротивления контура оказывает на период его собственных колебаний только второстепенное влияние. Это влия-

ние заключается в том что сопротивление немного замедляет колебания Но если сопротивление достаточно мало, то обусловленное им замедление колебаний очень незначительно, и практически можно считать, что малое сопротивление контура не изменяет периода собственных колебаний в нем. Так как в радиотехнике обычно приходится иметь дело с колебательными контурами, сопротивление которых достаточно мало (как мы увидим в дальнейшем, почти всегда оказывается выгодным применять колебательные контуры с малым сопротивлением), то можно вообще не принимать во внимание влияния сопротивления на период собственных колебаний в контуре. Поэтому мы везде в дальнейшем будем считать, что период собственных колебаний в контуре зависит только от величин емкости и индуктивности, входящих в этот контур. Мы будем считать, что период затухающих колебаний в каком-либо контуре совпадает с тем периодом, который имели бы незатухающие колебания в этом контуре, если бы из контура было удалено его омическое сопротивление (при неизменных емкости и индуктивности) Это будет практически достаточно точно и поэтому вполне допустимо.

8 ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ

Мы уже упомянули вскользь, что в электрических цепях кроме собственных колебаний могут существовать и колебания другого типа, так называемые вынужденные. Чтобы выяснить, в чем заключается разница между собственными и вынужденными колебаниями, мы вернемся еще раз к примеру с маятником. Представим себе, что мы раскачиваем маятник, удерживая его все время рукой. Такие колебания, которые маятник совершает потому, что его вынуждает к этому какая-то внешняя сила, например давление нашей руки, и называются вынужденными колебаниями. Эти вынужденные колебания маятника могут поддерживаться внешней силой так, чтобы амплитуда колебаний была все время одна и та же, т. е. можно получить вынужденные незатухающие колебания.

Подчеркнем наиболее существенные отличия между вынужденными и собственными колебаниями. Если маятник предоставлен самому себе, то он будет совершать свободные колебания, затухающие вследствие трения и других потерь энергии при колебаниях. Период этих колебаний будет определяться свойствами самой системы. Если же маятник колеб-

лется под действием внешней вынуждающей силы, то эта сила может в нем поддерживать незатухающие колебания. При этом, однако, необходимо, чтобы та внешняя сила, которая вызывает вынужденные колебания, действовала с постоянной амплитудой, т. е. была бы сама незатухающей. Период этих вынужденных колебаний будет определяться уже не свойствами системы, а периодом внешней силы, которая создает эти колебания.

То же можно сказать и о вынужденных электрических колебаниях. Если на какой-либо колебательный контур все время действует переменная э. д. с., то она будет вызывать в этом контуре переменный электрический ток, т. е. электрические колебания. Частота этих вынужденных колебаний, вообще говоря, не совпадает с частотой свободных колебаний контуре: она определяется только частотой внешней, «вынуждающей» э. д. с. Если эта внешняя переменная э. д. с. имеет постоянную амплитуду, то и вынужденные колебания в контуре будут происходить с постоянной амплитудой, т. е. будут незатухающими, в отличие от собственных колебаний в контуре, которые всегда будут затухающими вследствие наличия сопротивления в контуре.

9. РЕЗОНАНС

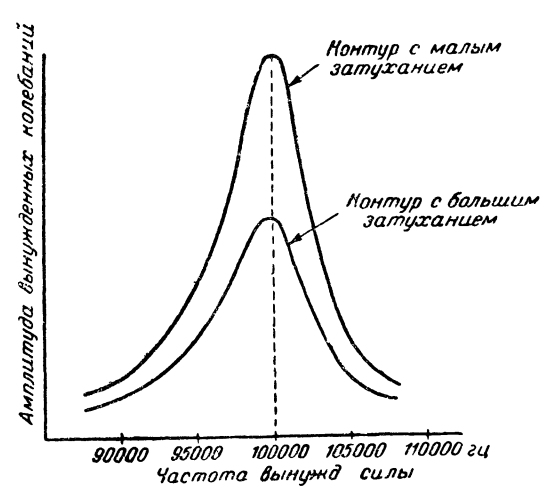
Во всяком колебательном контуре, таким образом, могут встретиться два типа колебаний — собственные и вынужденные. При этом частота собственных колебаний зависит, как мы знаем, от величины емкости и индуктивности, входящих в колебательный контур. Частота вынужденных колебаний может быть какой угодно и определяется только частотой вынуждающей силы, т. е. той э. д. с., которая подводится к колебательному контуру и создает в нем вынужденные колебания. Случай, когда частота вынужденных колебаний близка к частоте тех собственных колебаний, которые свойственны колебательному контуру, имеет очень большое значение в технике вообще и в радиотехнике в частности, и поэтому мы разберем его подробно.

Прежде всего мы рассмотрим этот случай для механических колебаний маятника. Если мы раскачиваем маятник толчками, то эти толчки (вынуждающая сила) могут иметь какую угодно частоту. Но сильнее всего маятник будет раскачиваться тогда, когда толчки ему мы будем давать так, чтобы они помогали движению. Например, если в те момен-

ты, когда маятник движется от положения *2* к *1* (фиг. 1), толчки будут направлены в ту же сторону (вправо), то размахи маятника от этих толчков будут увеличиваться; если же толчки будут направлены то в одну, то в другую сторону, они будут то помогать, то мешать движению маятника, и размахи его будут меньше. Словом, для более сильного раскачивания маятника нужно, чтобы вынуждающая сила (толчки) изменяла свое направление так, как изменяет направление движения сам маятник в своих колебаниях. В простейшем случае это означает, что частота вынуждающей силы должна быть равна частоте собственных колебаний маятника. Тогда толчки будут происходить в такт с движениями маятника и будут усиливать его колебания. Именно при таком условии размахи маятника будут наибольшими. Если же частота вынуждающей силы заметно отличается от частоты собственных колебаний маятника, то размахи маятника будут меньше. Этот особый случай вынужденных колебаний, когда частота вынуждающей силы близка к частоте собственных колебаний и когда вследствие этого размахи вынужденных колебаний оказываются очень велики, называется явлением резонанса.

То, что мы сказали о вынужденных колебаниях маятника, можно полностью повторить и относительно вынужденных электрических колебаний в колебательном контуре. Если частота действующей на контур внешней электродвижущей силы достаточно близка к частоте собственных колебаний контура, то амплитуда вынужденных колебаний в этом контуре будет наибольшей и мы будем иметь случай резонанса. Как мы уже сказали, в том случае, когда частота вынуждающей силы будет заметно отличаться от частоты собственных колебаний контура (дальше эту частоту собственных колебаний контура мы будем для краткости называть просто частотой контура), амплитуды колебаний будут меньше, чем при резонансе. Амплитуды вынужденных колебаний будут тем меньше, чем больше частота вынуждающей силы отличается от частоты контура. Эту зависимость можно изобразить графически таким образом. Отложим по горизонтальной оси частоты вынуждающей силы, а по вертикальной — амплитуды колебаний в контуре. Тогда зависимость между амплитудой и частотой изобразится кривой, приведенной на фиг. 15. В той точке, где частота вынуждающей силы совпадает с частотой контура, т. е на нашей фигуре при частоте внешней силы в 100 000 *гц*, амплитуды будут наибольшие. По обе стороны

от этой точки частота вынуждающей силы отличается от частоты контура, и соответственно амплитуды колебаний уменьшаются. Чем дальше от резонанса, тем больше частота вынуждающей силы отличается от частоты контура и тем меньше будут амплитуды вынужденных колебаний. Поэтому по обе стороны от резонанса кривая опускается все ниже и ниже.



Фиг. 15.

Эта кривая, изображающая зависимость между частотой вынуждающей силы и амплитудой вынужденных колебаний в колебательном контуре, называется кривой резонанса. Вид кривой резонанса зависит от свойств колебательного контура и прежде всего от величины его сопротивления. Чем меньше сопротивление контура, а значит, чем меньше затухание собственных колебаний в этом контуре (в дальнейшем для краткости мы будем говорить не «затухание собственных колебаний в контуре», а «затухание контура»), тем больше будет в этом контуре амплитуда вынужденных колебаний при той же самой амплитуде и частоте внешней силы. Это объясняется тем, что сопротивление контура всегда уменьшает амплитуду вынужденных колебаний. Но при этом влияние сопротивления на величину амплитуды вынужденных колебаний гораздо более заметно вблизи резонанса, чем в областях, далеких от резонанса. Чем дальше от

резонанса, тем меньшую роль играет сопротивление и тем меньше отличаются амплитуды вынужденных колебаний в контурах с малым и большим сопротивлением. Вблизи же резонанса величина амплитуды вынужденных колебаний зависит, главным образом, от сопротивления контура и при уменьшении сопротивления амплитуда вынужденных колебаний заметно возрастает.

Таким образом, кривые резонанса для контуров с малым и большим сопротивлением выглядят по-разному. Кривая резонанса для контура с малым сопротивлением проходит везде над кривой для контура с большим сопротивлением. Но в то время как вдали от резонанса первая кривая мало возвышается над второй, вблизи резонанса она возвышается очень значительно. Поэтому кривые резонанса имеют разный характер. Чем меньше затухание контура, тем острее его кривая резонанса и тем выше поднимается верхушка этой кривой. Следовательно, чем меньше сопротивление контура, тем резче спадают амплитуды вынужденных колебаний при удалении частоты вынуждающей силы от собственной частоты контура. Поэтому форма кривой резонанса позволяет судить о свойствах колебательного контура как приемника электрических колебаний, способного из внешних воздействий различных частот выбирать воздействие одной определенной частоты. Об этом мы будем подробно говорить в дальнейшем.

ГЛАВА ВТОРАЯ

МИКРОФОН И ТЕЛЕФОН

10. ПРИРОДА ЗВУКА

Чтобы разобраться в вопросе о том, как происходит радиотелефонная передача, т. е. передача по радио различных звуков (речи, пения, музыки и т. д.), помимо представлений о колебательных движениях вообще и об электрических колебаниях в частности необходимы также основные сведения о природе звука.

Как известно, ощущения звука в человеческом ухе создают действующие на ухо быстрые механические колебания. Всякое звучащее тело совершает быстрые механические колебания, которые передаются звучащим телом в окружающую среду (обычно этой средой является воздух) и распространяются в этой среде во все стороны в виде звуковых

волн. Звуковые волны не могут распространяться в пустоте; для их распространения необходима среда, в которой могли бы происходить механические колебания. Звук может распространяться в воздухе, в других газах, в жидких телах, он может распространяться и в твердых телах.

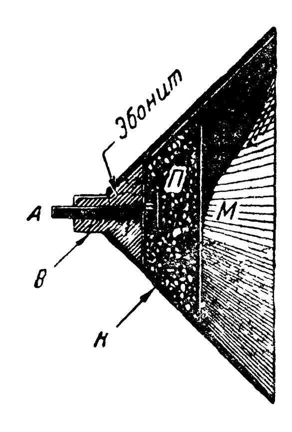
Как и всякие колебания, звуковые колебания характеризуются определенными частотой и амплитудой. Поэтому различные звуковые колебания могут отличаться друг от друга по частоте и по амплитуде. Эти отличия человеческое ухо хорошо слышит. Чем больше амплитуды колебаний, тем громче слышимый ухом звук. При колебаниях различной частоты человеческое ухо слышит звуки разного тона, и каждой частоте колебаний соответствует вполне определенный тон звука; при этом, чем больше частота колебаний, тем выше тон слышимого ухом звука. Итак, амплитуда колебаний определяет силу звука, а частота колебаний — высоту (тон) звука. Однако, не все механические колебания действуют на человеческое ухо и вызывают в нем впечатление звука. Очень медленные и очень быстрые колебания не действуют на человеческое ухо, и звука мы в этом случае не слышим. Наиболее медленные колебания, на которые реагирует человеческое ухо, это колебания с частотой в 15—20 *гц*. Наиболее быстрые колебания, которые еще может услышать ухо человека, это колебания с частотой в 15 000—20 000 *гц*. В этих пределах от 20 до 20 000 *гц* лежит все то огромнейшее количество разнообразнейших звуков, которые мы слышим и различаем.

После того, как мы выяснили, что звуки представляют механические колебания, читателю уже должно быть ясно, в чем заключается первая задача радиотелефонии и телефонии вообще, т. е. передачи звуков при помощи электрических процессов. Очевидно, прежде всего необходимо превратить механические колебания, которые представляют собой звук, в электрические сигналы, в электрические колебания и затем уже эти электрические колебания при помощи соответствующих приборов передать на расстояние.

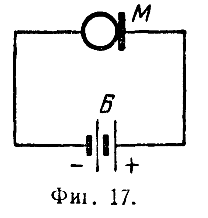
11. МИКРОФОН

Прибор, при помощи которого можно превратить звуковые колебания в электрические, называется м и к р о ф о н о м. Существует очень много различных типов микрофонов, но мы

не будем подробно останавливаться на их устройстве и опишем только устройство простейшего угольного микрофона для того, чтобы на этом примере выяснить, как действует микрофон. Устройство простейшего угольного микрофона схематически изображено на фиг. 16. В металлическую коробочку (капсюль) *К* насыпан угольный порошок *П*. Сверху капсюль закрыт тонкой пластинкой-мембраной *М*. Сквозь отверстие в капсюле пропущен контакт *А*, изолированный от капсюля при помощи эбонитовой или фибровой втулки *В*. Таким образом электрический ток от контакта *А* к коробочке *К* может проходить только через угольный порошок *П*. Уголь является проводником электричества, но угольный порошок, как и некоторые другие проводники такого типа, обладает следующим свойством. Его сопротивление электрическому току зависит от того, как сильно прижимаются друг к другу отдельные крупинки порошка. Чем сильнее они прижаты друг к другу, тем меньше сопротивление угольного порошка, и наоборот. Это свойство угольного порошка и позволяет превратить механические (звуковые) колебания в колебания электрические. Если на мембрану действует звук, т. е. механические колебания воздуха, то она также начинает колебаться, отчего крупинки угольного порошка прижимаются друг к другу то сильнее, то слабее. Сопротивление микрофона электрическому току будет при этом изменяться. Следовательно, если мы составим из микрофона и батареи электрическую цепь (фиг. 17), то вследствие изменения сопротивления микрофона при действии на него звука будет изменяться и сила тока, создаваемого в цепи микрофона батареей *Б*. Таким образом, сила электрического тока в цепи микрофона все время будет изменяться в соответствии со звуковыми колебаниями, действующими на мембрану микрофона. Мы получим в этой цепи электрический ток, все время изменяющийся по величине, причем все эти изменения по своей частоте и амплитуде бу-



Фиг. 16.



Фиг. 17.

дут соответствовать тем механическим колебаниям, т. е. звукам, которые действуют на мембрану микрофона.

Итак, мы теперь знаем, как может быть выполнена первая задача телефонии—звуковые (механические) колебания при помощи микрофона могут быть превращены в колебания электрические. Ясно, что последняя задача телефонии будет как раз обратна этой. После того как электрические колебания каким-либо образом переданы на приемную станцию, их нужно снова превратить в механические колебания, и тогда мы на приемной станции услышим как раз те звуки, которые действовали на микрофон передающей станции. Эту задачу — превращение электрических колебаний в механические — выполняет **телефон**.

12. ТЕЛЕФОН

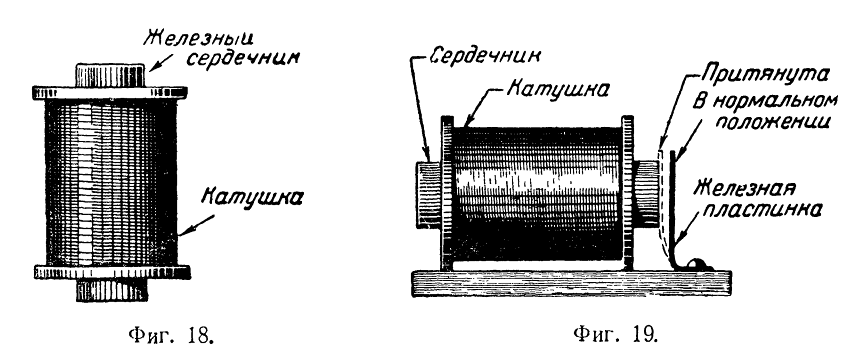
Как же должен быть устроен телефон, чтобы он мог выполнить эту задачу? Во-первых, в телефоне должен быть какой-то элемент, который может совершать механические колебания, а во-вторых, электрическое устройство, которое могло бы вызвать эти механические колебания. Чтобы рассмотреть более подробно устройство телефона, нужно вспомнить некоторые сведения о магнитных явлениях.

Прежде всего напомним, что если по проводнику пропустить переменный электрический ток, то магнитное поле вокруг проводника будет также переменным, причем это магнитное поле изменяется так же, как изменяется величина электрического тока в проводнике. Далее, чтобы при помощи электрического тока создать сильное магнитное поле, применяют проводники, свернутые в виде катушки. Если внутри катушки поместить железный сердечник (фиг. 18), то магнитное поле, создаваемое током, проходящим в катушке, еще больше усилится Такие приборы называются «электромагнитами», и применяются они в технике очень часто.

Теперь представим себе такой электромагнит и возле него тонкую железную пластинку, закрепленную одним концом (фиг. 19). Если через катушку пропустить постоянный электрический ток, то железный сердечник, намагниченный этим током, притянет к себе железную пластинку, и тем сильнее этот ток, тем ближе притянется пластинка к сердечнику. Пока ток постоянной силы проходит по катушке электромагнита, до тех пор пластинка все время будет оставаться в од-

ном и том же положении — притянутой к сердечнику электромагнита. Если выключить ток, проходящий по катушке электромагнита, то магнитное поле катушки исчезнет, и пластинка вернется в нормальное положение.

Но что будет происходить с пластинкой, если по катушке электромагнита пропускать не постоянный, а переменный электрический ток? Магнитное поле, создаваемое током, будет изменяться так же, как изменяется сила тока, проходящего по катушке. Когда сила тока будет возрастать, магнитное поле тока также будет увеличиваться, и пластинка будет все больше и больше притягиваться к сердечнику. Затем,



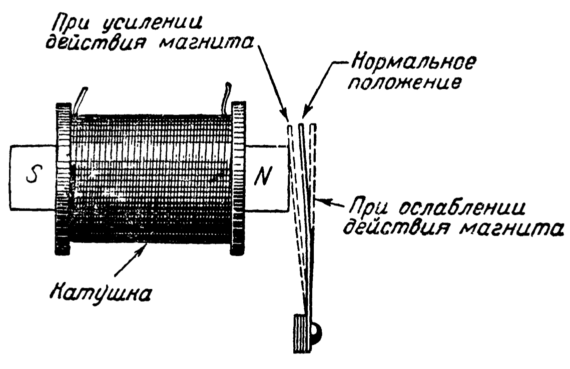
Фиг. 18. Фиг. 19.

когда сила тока начнет уменьшаться, с ней вместе будет уменьшаться и магнитное поле, и пластинка понемногу начнет удаляться от сердечника. Дальше сила тока опять начнет возрастать, пластинка опять будет приближаться к электромагниту, словом, пластинка начнет колебаться, и в этих своих колебаниях она будет следовать за изменениями силы тока в катушке. Механические колебания пластинки будут соответствовать электрическим колебаниям, проходящим через катушку электромагнита. Таким образом при помощи электромагнита можно превратить электрические колебания в механические. Однако, роль телефона заключается в превращении электрических колебаний в механические (звуковые) так, чтобы частота и форма этих колебаний соответствовали частоте и форме электрических колебаний. Только при этом условии звук, воспроизведенный телефоном, будет соответствовать тем электрическим токам, которые питают катушку телефона. Описанный же нами выше электромагнит этих условий, как мы сейчас увидим, не выполнит. За то время,

в течение которого через обмотку телефона проходит один период переменного электрического тока, пластинка совершит два полных колебания. В самом деле, при возрастании тока в положительную сторону (первый полупериод) пластинка притянется к сердечнику электромагнита, затем при убывании тока до нуля пластинка вернется в первоначальное положение, так как при отсутствии тока в обмотке электромагнита сердечник своих магнитных свойств лишится; дальше при возрастании тока в обратном направлении (во второй полупериод) пластинка повторит точно то же движение, которое она совершила в течение первого полупериода. Происходит это потому, что железная пластинка притягивается к сердечнику всякий раз, когда он намагничивается, независимо от того, каково будет направление магнитного поля, так как железо притягивается одинаково и к северному и к южному полюсу магнита. Следовательно, такой электромагнит заставит пластинку совершать механические колебания с вдвое большей частотой, чем частота электрического тока, проходящего по его обмотке. Телефон с таким устройством будет создавать звуки не того тона, который соответствует электрическим токам, подводимым к телефону, а тона вдвое более высокого.

Это затруднение, однако, совершенно устраняется, если вместо железного сердечника для электромагнита применить намагниченный стальной стержень (постоянный магнит). Такой электромагнит, сердечник которого является постоянным магнитом, носит название поляризованного электромагнита. В случае отсутствия тока в катушке поляризованный электромагнит все же обладает магнитными свойствами (в этом и заключается его отличие от обычного электромагнита) и притягивает пластинку; поэтому ее нормальное положение будет смещено в сторону сердечника (фиг. 20). Если через обмотку поляризованного электромагнита пропустить переменный ток, то за один период тока пластинка совершит тоже только одно полное колебание. Действительно, пусть первый полупериод тока усиливает магнитное действие сердечника, тогда во второй полупериод ток идет в обратном направлении и ослабляет магнитное действие сердечника. В результате пластинка в течение одного периода совершит следующие движения: сперва приблизится к магниту, потом вернется в нормальное положение (нормальным в этом случае является положение, при котором пластинка слегка притянута к магниту), затем удалится

от магнита и, наконец, снова вернется в первоначальное положение. Словом, пластинка совершит также одно полное колебание и, следовательно, частота колебаний пластинки будет такая же, как и частота электрических колебаний в цепи телефона, а это как раз и необходимо для того, чтобы телефон воспроизводил звуки нужной высоты и не искажал их тона. Именно поэтому в телефоне применяется не обычный электромагнит с железным сердечником, а специальный поляризованный электромагнит с сильно намагниченным

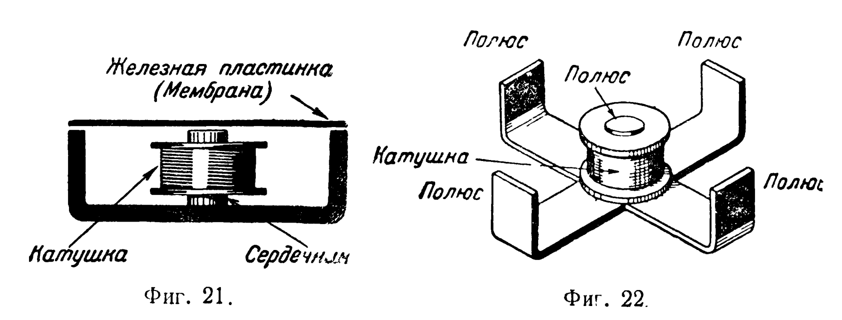


Фиг. 20.

стальным сердечником. Сильно намагниченный сердечник нужен, во-первых, потому, что все наше рассуждение правильно только при условии, что магнитное поле постоянного магнита сильнее, чем переменное магнитное поле, создаваемое переменным током, проходящим по обмотке телефона. Кроме того, сила, с которой будет меняющееся по величине (но постоянное по направлению) результирующее магнитное поле действовать на пластинку, зависит не только от амплитуды переменого магнитного поля, но и от величины постоянного магнитного поля. Чем сильнее это постоянное поле, тем сильнее будет колебаться пластинка при той же амплитуде переменного тока. Поэтому, когда сердечник (т. е. постоянный магнит) телефона размагничивается, то телефон начинает плохо работать, и чтобы улучшить работу телефона, надо снова намагнитить сердечник.

Применяемые на практике телефоны отличаются от устройства, изображенного на фиг. 20. Прежде всего сердечник в электромагните телефона обычно не имеет формы прямого

стержня Дело в том, что силу магнитного поля, создаваемого электромагнитом, можно усилить, если уменьшить длину воздушного промежутка между железной пластинкой и полюсами электромагнита Для этого в электромагнитах телефонов сердечнику обычно придают форму, указанную на фиг. 21. Форма сердечника иногда бывает еще более сложной. Кроме полюса, на который насажена катушка, в некоторых телефонах делаются еще не два полюса (как на фиг. 21), а четыре (фиг. 22). Железная пластинка всегда располагается над всеми полюсами, как указано на фиг 21.



Фиг. 21. Фиг. 22.

Наконец, часто в телефонах употребляют электромагниты не с одной, а с двумя катушками и соединяют эти катушки между собою так, чтоби они одновременно усиливали или ослабляли действие постоянного магнита, т. е. чтобы обе катушки при прохождении через них тока создавали магнитное поле одного и того же направления. Колеблющаяся пластинка в телефонах делается круглой формы и больших размеров, так как при больших размерах пластинка создает более сильные колебания воздуха и, следовательно, более громкие звуки. Эта железная пластинка называется мембраной телефона.

Итак, телефон состоит из электромагнита и мембраны. Когда через обмотку электромагнита пропускаются электрические колебания, мембрана совершает соответствующие механические колебания и создает звуки.

Заметим кстати, что телефон может выполнять не только эту, но и обратную задачу, именно превращать звуки в электрические колебания и, следовательно, играть роль микрофона. Действительно, если мембрана телефона колеблется (под действием падающих на нее звуковых колебаний), то

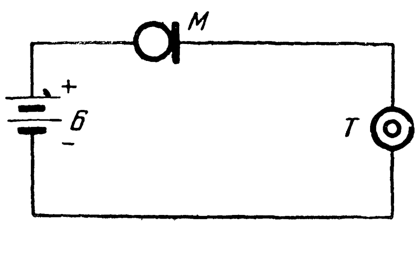
величина воздушного промежутка между полюсами электромагнита и мембраной будет все время меняться. Но сила магнитного поля, создаваемого постоянным магнитом, существенно зависит от величины воздушного промежутка, поэтому при колебаниях мембраны будет изменяться величина магнитного потока проходящего через сердечник электромагнита. Изменения магнитного потока в сердечнике какой-либо катушки вызывают, как мы знаем, появление в этой катушке электродвижущей силы. Таким образом при колебаниях мембраны телефона в его катушке возникает соответствующая э. д. с., и телефон может выполнять роль микрофона. Правда, непосредственно в качестве микрофона телефон применяется редко, но устройство, совершенно аналогичное телефону, часто применяется в качестве граммофонного а д а п т е р а, т. е. в качестве прибора, превращающего механические колебания, совершаемые иглой граммофона, в колебания электрические, которые в дальнейшем усиливаются. Для этой цели из телефона удаляют мембрану и заменяют ее упругим стерженьком из мягкого железа (этот стерженек носит название якоря). В стерженьке делается гнездо для закрепления граммофонной иглы, и адаптер с иглой укрепляется над граммофонной пластинкой. При вращении пластинки записанные на ней (в виде тонкой бороздки) колебания заставляют колебаться иглу вместе с поддерживающим ее якорем адаптера.

Колебания якоря, изменяя магнитный поток, проходящий через катушку, создают в катушке адаптера переменные электродвижущие силы, по форме и частоте соответствующие тем звуковым колебаниям, которые записаны на пластинке граммофона. Таким образом при помощи адаптера можно запись на пластинке граммофона непосредственно превратить в электрические колебания, минуя промежуточную стадию — превращение записи на пластинке в звуковые колебания.

Телефон представляет собой весьма чувствительный прибор. Мембрана его начинает колебаться при очень слабых токах, проходящих в обмотках электромагнита. Но зато телефон не пригоден для создания сколько-нибудь громких звуков. Вся конструкция телефона приспособлена для того, чтобы он отзывался на очень слабые токи, а не для того, чтобы он создавал громкие звуки. Поэтому обычно услышать звуки, создаваемые телефоном, можно только приложив телефон к уху. Если же мы хотим получить громкие звуки, которые были бы слышны во всех концах комнаты, то

телефон для этого не пригоден. Для громкоговорящего приема пользуются специальными приборами — **громкоговорителями** или репродукторами.

Существует много различных типов громкоговорителей. Многие из них построены по тому же принципу, как и телефон. В этих репродукторах либо мембрана сделана больших размеров, либо вместо мембраны электромагниты приводят в движение железный якорек (а не мембрану), а к якорьку прикреплена большая бумажная мембрана — так называемый **диффузор**.



Фиг. 23.

Помимо таких электромагнитных репродукторов существуют и другие типы репродукторов. Среди них наибольшее распространение имеет так называемый **динамический репродуктор** или «динамик», который устроен следующим образом. В магнитном поле сильных электромагнитов (или постоянных магнитов) помещена легкая катушка, питаемая токами звуковой частоты. Эти токи взаимодействуют с постоянным магнитным полем, в которое помещена катушка, и заставляют катушку колебаться; к катушке прикреплен бумажный диффузор. Для приведения в действие репродуктора независимо от его конструкции требуются гораздо бо̀льшие силы токов и бо̀льшие мощности, чем для приведения в движение мембраны телефона. Поэтому репродукторы можно применять только тогда, когда питающие их электрические колебания достаточно мощны.

В заключение рассмотрим простейший случай применения телефона, поясняющий его назначение. Если мы включим телефон *Т* в цепь микрофона *М* (фиг. 23), то через телефон будет проходить электрический ток микрофона, и мы услышим как раз те звуки, которые действовали на микрофон. Таким образом на фиг. 23 мы имеем простейшую схему проволочной телефонии.

В случае проволочной телефонии, когда мы говорим в микрофон обычного телефонного аппарата, звуки, падающие на микрофон, вызывают изменения электрического тока в цепи микрофона. Этот ток идет по проводам, соединяющим микрофон с телефоном, попадает в обмотку электромагнита

телефонной трубки и заставляет колебаться ее мембрану, которая таким образом колебания электрического тока вновь превращает в звуковые. Ясно, что в этом случае провода, соединяющие микрофон с телефоном, играют очень важную роль. Через них передается в виде электрического тока та энергия, которая заставляет мембрану колебаться и звучать. Как мы знаем, электрические токи могут распространяться только по проводникам, и чтобы передать энергию в виде электрического тока от одного телефонного аппарата к другому, нужно эти аппараты соединить между собой проводами. Если же мы хотим осуществить передачу звуков без проводов, то мы должны превратить звуковые колебания не в электрические токи, а в какую-то другую форму энергии, которая могла бы распространяться без проводов.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

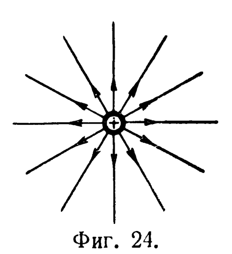
13. ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Форма энергии, которая для своего распространения не требует никаких проводников, называется «лучистой энергией». Лучистой энергией, например, является световая энергия. Всякий источник света посылает во все стороны лучи света, и эти лучи несут с собой некоторую энергию. Источник света «излучает» энергию. Принципиально так же осуществляется и беспроволочная связь. Передающая радиостанция излучает электромагнитную энергию и эта энергия распространяется без проводов в пространстве во все стороны от передатчика. Достигая приемной радиостанции, эта энергия воздействует на приемник и вызывает появление в приемнике нужных сигналов.

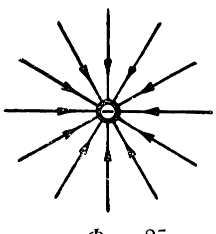
Чтобы рассмотреть вопрос о распространении электромагнитной энергии без проводов, мы должны начать сравнительно издалека, именно с представлений об электрическом и магнитном поле. Мы уже пользовались этими представлениями, но сейчас нам нужно их развить.

Электрическое поле появляется вокруг всякого тела, в котором возникает электрический заряд, и исчезает, когда исчезает сам заряд. Направление электрического поля в каждой точке совпадает с направлением той силы, которая действует на пробный (положительный) заряд, помещенный в

этой точке. Направление электрического поля от точки к точке может меняться. Направление электрического поля в разных точках можно характеризовать при помощи так называемых **силовых линий**. Это такие линии, направление которых в каждой точке совпадает с направлением силы, действующей в этой точке на пробный заряд. Чтобы сделать представление о силовых линиях более отчетливым, проделаем следующий воображаемый опыт. Поместим пробный заряд в электрическое поле и предоставим ему свободу. Под влиянием силы, действующей на него со стороны элек-



Фиг. 24.



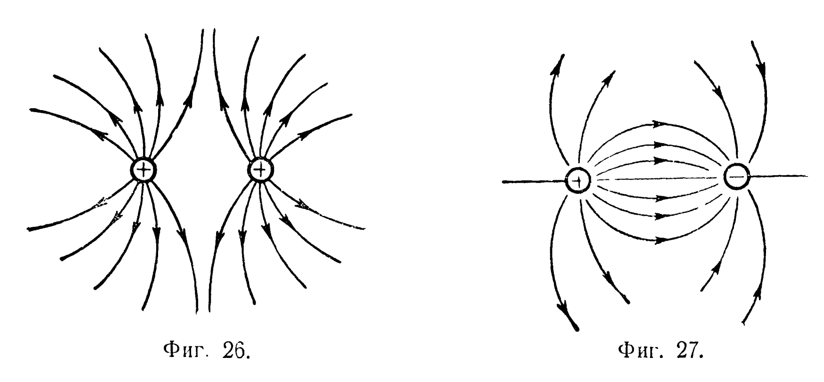
Фиг. 25.

трического поля, заряд начнет двигаться в том направлении, в котором действует на него сила. Однако, нужно иметь в виду, что, вообще говоря, направление движения заряда может не совпадать с направлением действия силы. Если заряд уже обладает какой-либо скоростью, то вследствие инерции он не будет двигаться в направлении действия силы, если направление силы не совпадает с направлением той скорости, которую заряд уже имеет. Но если мы не будем давать возможность заряду «разгоняться» и будем удерживать его так, чтобы он двигался очень медленно, то направление его движения в каждой точке будет совпадать с направлением действия силы в этой точке. Следовательно, силовые линии — это линии, по которым двигался бы положительный электрический заряд, если бы мы удерживали этот заряд так, чтобы он не мог «разгоняться», но в то же время давали бы ему возможность двигаться в направлении действующей на него силы.

Расположение силовых линий поля зависит от расположения электрических зарядов. Так, например, в случае заряженного шара силовые линии расходятся радиально во все стороны от шара. Они направлены от шара, если шар заряжен положительно (фиг. 24), и направлены к шару, если он

заряжен отрицательно (фиг. 25), так как в первом случае положительные заряды отталкиваются от шара, а во втором — притягиваются к нему.

Силовые линии характеризуют не только направление, но и напряженность электрического поля (напряженность электрического поля определяется силой, с которой электрическое поле действует на определенный электрический заряд — единицу положительного электричества). Там, где силовые линии расположены гуще, там напряженность поля больше. Так, например, в случае заряженного



Фиг. 26. Фиг. 27.

шара силовые линии расположены тем реже, чем дальше от шара находится рассматриваемое место. Это соответствует тому, что при удалении от шара напряженность поля убывает. В других случаях, когда электрическое поле образуется не одним, а несколькими заряженными шарами или телами иной формы, картина расположения силовых линий значительно усложняется. Для примера мы приводим расположение силовых линий электрического поля в случае двух маленьких шариков, заряженных положительными зарядами (фиг. 26), и в случае двух шариков, заряженных разноименными зарядами (фиг. 27).

Точно так же как вокруг электрического заряда существует электрическое поле, в пространстве вокруг электрического тока или постоянного магнита существует магнитное поле. Так же, как и в случае электрического поля, направление и напряженность магнитного поля характеризуются магнитными силовыми линиями. Направление силовой линии в данной точке указывает направление, в котором действует сила на помещенный в этой точке северный конец

магнитной стрелки. А густота силовых линий характеризует величину силы, с которой действует магнитное поле на конец стрелки, т. е. характеризует напряженность магнитного поля.

Когда электрические заряды неподвижны, то существует только электрическое поле без магнитного. Если же электрические заряды начинают двигаться, то это означает, что появляется электрический ток, а вместе с ним возникает и магнитное поле. В этом случае электрическое и магнитное поля известным образом связаны между собой.

Однако, связь между электрическим и магнитным полем этим не исчерпывается. Существует еще и другая тесная связь между электрическими и магнитными полями, если эти поля переменные. А именно, всякое изменение электрического поля влечет за собой возникновение магнитного поля, и наоборот, всякое изменение магнитного поля влечет за собой возникновение электрического поля[1]. Указанная взаимная связь между электрическим и магнитным полем играет тем бо̀льшую роль, чем быстрее происходят изменения этих полей. Поэтому только в случае постоянных или медленно меняющихся электрических и магнитных полей можно не принимать во внимание этой связи и считать, что электрическое и магнитное поля существуют независимо друг от друга. Но при быстропеременных электрических токах электрическое и магнитное поля не независимы друг от друга, а связаны между собой указанным выше образом, так что в каждой точке пространства существует как электрическое, так и магнитное поле. Такие связанные между собой переменные электрические и магнитные поля называют электромагнитным полем. Электромагнитная энергия распространяется в пространстве в виде такого быстропеременного электромагнитного поля. Одним из основных свойств такого поля является то, что это поле очень быстро (со скоростью примерно 300 000 *км/сек*) распространяется в пространстве, в «мировом эфире», или, коротко, в эфире. Такое быстропеременное электромагнитное поле называют также электромагнитной волной

Электромагнитные волны можно представлять себе как возмущения в «мировом эфире», которые возникают и рас-

[1] Этот последний эффект и лежит в основе известного уже читателю явления электромагнитной индукции: при изменении магнитного поля возникает электрическое поле, которое действует в окружающих проводниках как электродвижущие силы индукции.

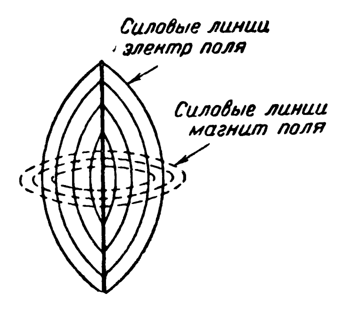
пространяются в эфире подобно звуковым волнам в воздухе. Отсюда и произошли термины—«передача по эфиру», «порядок в эфире», «теснота в эфире». Словом, всякий раз, когда речь идет об электромагнитных процессах, разыгрывающихся в пространстве, мы говорим об эфире, понимая под эфиром то пространство, в котором протекают эти процессы. При этом необходимо помнить, что «мировой эфир» не обладает какими-либо механическими свойствами. А так как электромагнитные волны распространяются в «мировом эфире», то, значит, для их распространения не требуется наличия промежуточной механической среды. Хотя промежуточная среда (например, воздух) и играет определенную роль при распространении электромагнитных волн, но она отнюдь не необходима для распространения этих волн. Более того, эта среда нередко вызывает поглощение электромагнитных волн, «мешает» их распространению. Когда в дальнейшем мы будем говорить о распространении электромагнитных волн в эфире или просто в пространстве, то нужно помнить, что хотя это пространство и может быть заполнено какой-либо механической средой (обычно воздухом), но ее присутствие вовсе не обязательно для их распространения. Примером распространяющегося в пространстве быстропеременного электромагнитного поля могут служить световые лучи Но не все быстропеременные электромагнитные поля действуют на наш глаз и, следовательно, не все принадлежат к классу световых волн В отношении воздействия на органы чувств человека, да и вообще в отношении своих свойств, быстропеременные электромагнитные поля разделяются на многочисленные и разнообразные группы, причем все эти группы, хотя и имеют одну и ту же природу, но они различаются по частоте, с которой происходит изменение электромагнитного поля. Это различие по частоте и обусловливает различные свойства электромагнитных полей и, в частности, различное их воздействие на наши органы чувств. Видимый свет, например, т. е. такие электромагнитные волны, которые действуют непосредственно на наш глаз, принадлежит к числу чрезвычайно быстро меняющихся электромагнитных полей, частота которых составляет пятнадцатизначное число. Более быстро и более медленно меняющиеся электромагнитные поля уже не действуют на наш глаз и не принадлежат к области видимого света. Именно некоторыми гораздо более медленно меняющимися (чем в случае световых волн) электромагнитными полями пользуются для передачи на расстояние энер-

гии без проводов. Применяемые для этих целей электромагнитные волны называют радиоволнами. Все электромагнитные волны, в том числе и световые, распространяются в пустоте с одной и той же скоростью—около 300 000 *км/сек*, поэтому эту скорость называют «скоростью света».

14. ИЗЛУЧЕНИЕ РАДИОВОЛН

Так как для передачи сигналов на расстояние без проводов пользуются электромагнитными волнами, то задача всякой передающей радиостанции состоит прежде всего в том, чтобы создать эти электромагнитные волны. Посмотрим, как это происходит.

Преставим себе длинный прямой проводник (фиг. 28), по которому проходит быстропеременный электрический ток (т. е. в проводе происходят электрические колебания). Если по проводу проходит ток, то вокруг него создается магнитное поле, и так как ток этот—быстропеременный, то и магнитное поле вокруг него будет все время изменяться с большой скоростью. С другой стороны, если в проводе есть электрический ток, то в нем находятся и электрические заряды, распределенные каким-то образом по проводу. Электрические заряды создают вокруг себя электрическое поле, поэтому вокруг провода также будет существовать электрическое поле; так как эти электрические заряды все время движутся, то электрическое поле тоже будет все время изменяться. Таким образом, вокруг провода, в котором происходят электрические колебания, возникают переменные электрическое и магнитное поля. Расположение этих полей грубо схематически показано на фиг. 28. Поля эти переменные и изменения электрического поля будут вызывать появление магнитного поля, и наоборот. В результате вокруг провода возникает электромагнитное поле, которое распространяется во все стороны от провода со скоростью около 300 000 *км/сек*.

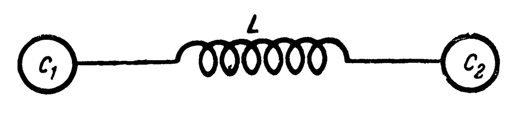


Фиг. 28.

Итак, вокруг провода, в котором происходят быстрые электрические колебания, возникают электромагнитные волны, которые и применяются для передачи энергии без про-

водов. Каким образом можно их использовать для этой цели, мы расскажем впоследствии, а пока остановимся более подробно на вопросе о том, как эти волны могут быть получены.

Прежде всего мы должны выяснить вопрос, который, может быть, уже вызвал недоумение у некоторых из наших читателей. Вопрос этот следующий: каким образом может проходить электрический ток в куске провода, который не представляет собой замкнутой электрической цепи, например в отрезке провода, изображенном на фиг. 28? Конечно, в нем не может проходить постоянный электрический ток, так как постоянный ток может течь только по замкнутой цепи



Фиг. 29.

Но с переменным током дело обстоит иначе. Ведь кусок провода, как и вообще всякий проводник, обладает определенной емкостью и самоиндукцией, и следовательно, кусок провода мы можем представить себе так, как это сделано на фиг. 29, а именно: представлять дело таким образом, будто сам провод не имеет емкости, но зато в концы провода включены некоторые воображаемые емкости C_1 и C_2 и, кроме того, сам провод не обладает самоиндукцией, но зато в середину его включена катушка самоиндукции L. Емкости C_1 и C_2 могут заряжаться и разряжаться. Положим, что в какой-либо момент емкость C_1 заряжена положительным зарядом, а емкость C_2 отрицательным. Ясно, что в таком положении электрические заряды не останутся, они двинутся по проводу, но благодаря тому, что в провод включена самоиндукция, емкости C_1 и C_2 не смогут разрядиться мгновенно. Ток разряда будет усиливаться постепенно и достигнет наибольшей силы как раз тогда, когда емкости C_1 и C_2 разрядятся. Но вследствие того, что провод обладает самоиндукцией, ток в нем не может прекратиться сразу, он будет уменьшаться постепенно, и при этом емкости C_1 и C_2 будут снова заряжаться, но уже зарядами обратных знаков, противоположных тем, которыми эти емкости были заряжены вначале.

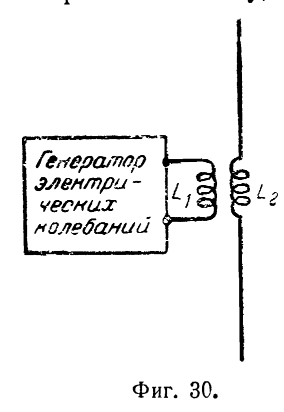
Словом, мы получим такую же картину, как и в случае замкнутого колебательного контура — в проводе будут происходить электрические колебания, частота которых зависит от емкости и индуктивности провода, т. е. в конечном счете от размеров провода (чем длиннее провод, тем больше его емкость и индуктивность). Так как всякий провод обладает и сопротивлением, то колебания в нем всегда будут затухающими. Таким образом, собственные электрические колебания могут возникнуть не только в замкнутом колебательном контуре, но и в незамкнутом проводе (открытом контуре), причем частота этих собственных колебаний определяется размерами провода.

Помимо собственных колебаний во всяком проводе можно возбудить (так же, как и в замкнутом контуре) и вынужденные колебания, если ввести в провод переменную э. д. с. При этом так же, как и в случае замкнутого контура, наиболее сильные вынужденные колебания получатся тогда, когда частота внешней силы будет совпадать с частотой собственных колебаний в проводе, т. е. когда будет иметь место резонанс[1]. Чтобы вызвать в проводе вынужденные колебания, необходимо ввести в этот провод быстропеременную э. д. с. Мы можем для этого поступить, например, таким образом. Включим в середину нашего провода катушку самоиндукции L_2 (фиг. 30) и свяжем ее индуктивно с другой катушкой самоиндукции L_1, т. е. так, чтобы магнитное поле катушки L_1, питаемой от источника быстропеременного тока, пересекало витки катушки L_2. Этими источниками быстропеременного тока обычно служат ламповые генераторы электрических колебаний высокой частоты, с принципом действия которых мы познакомимся позднее. Если в катушке L_1 течет быстропеременный электрический ток, то в катушке L_2 возникнет быстропеременная э. д. с, которая и возбудит вынужденные электрические колебания в проводе, в который эта катушка включена.

Длинный провод, по которому проходит быстропеременный электрический ток, возбуждает вокруг себя быстропеременное электромагнитное поле, т. е. излучает электромагнитные волны, которые распространяются от этого провода во

[1] Однако в отличие от замкнутого контура, открытый контур обладает не одной частотой, а множеством частот собственных колебаний (так называемые «основной тон» и «обертоны») и резонанс наступает всякий раз, когда частота внешней силы совпадает с одной из собственных частот открытого контура.

все стороны в пространстве. Чем длиннее этот провод и чем больше частота проходящего по нему тока, тем сильнее он излучает электромагнитные волны. Излучение провода зависит не только от его размеров (и частоты проходящего по проводу тока), но также и от присутствия посторонних проводников. Так, например, если вблизи от излучающего проводника параллельно ему расположить другой провод, то в этом втором проводе будет индуктироваться ток, обратный по направлению току, проходящему по первому, излучающему проводу. Второй провод, когда по нему проходит ток, также излучает электромагнитные волны, также создает вокруг себя электромагнитное поле. Но так как ток в этом втором проводе направлен в каждый момент навстречу току в первом проводе, то и создаваемые этими проводами электромагнитные поля в каждый момент направлены навстречу друг другу. В результате электромагнитное поле, создаваемое вторым проводом, ослабляет поле первого провода, и, следовательно, присутствие второго провода уменьшает излучение первого провода. Такое же влияние на излучение провода оказывает и земля, если излучающий провод расположен над землей параллельно ей, т. е. горизонтально. Поэтому горизонтальные провода, расположенные над землей, очень слабо излучают электромагнитные волны; если же длинный провод расположен над землей вертикально, то земля уже не играет роли второго параллельного провода и не уменьшает излучения вертикального провода. Таким образом, длинный провод, расположенный вертикально над землей, излучает сильно, в то время как провод, расположенный горизонтально, излучает очень слабо[1]. Поэтому, чтобы передающая радиостанция создавала сильные электромагнитные волны, она должна быть снабжена высоким вертикальным проводом, по которому проходит быстропеременный электрический ток. Этот



Фиг. 30.

[1] Применяя эти рассуждения, нужно помнить, что чем больше расстояние от провода до земли, тем меньше влияет земля на его излучение. Поэтому высоко над землей вертикальный и горизонтальный провода могут излучать одинаково.

подвешенный высоко провод или система проводов носит название антенны передающей радиостанции или просто **передающей антенны**. Генератор быстропеременных электрических токов, питающих антенну, называется **передатчиком**. Таким образом передатчик и антенна являются основными частями всякой передающей радиостанции

В передающей антенне существенную роль играет высота антенны (чем выше антенна, тем сильнее создаваемое ею электромагнитное поле). Однако, известную роль играют и горизонтальные провода: они увеличивают общую емкость антенны и тем самым позволяют повысить силу тока в вертикальной части антенны и усилить электромагнитное поле, создаваемое антенной. Поэтому обычно все передающие антенны, помимо вертикальных проводов, снабжаются и горизонтальной частью, но для излучения электромагнитных волн существенную роль играет только вертикальная часть антенны.

Итак, всякая передающая радиостанция должна быть снабжена передающей антенной, в которой передатчик возбуждает вынужденные колебания. Чтобы эти вынужденные колебания в передающей антенне были возможно более сильны, нужно, как мы уже знаем, сделать так, чтобы частота внешней э. д. с., создающей вынужденные колебания в антенне, совпадала с собственной частотой антенны. Другими словами, передающую антенну нужно настроить в резонанс на ту частоту, которую создает питающий эту антенну источник (передатчик). Вопрос о настройке антенны будет подробно выяснен при рассмотрении работы приемной антенны.

15. ДЛИНА ВОЛНЫ

Выяснив, как образуются электромагнитные волны вокруг передающей антенны, мы должны перейти к выяснению смысла одного термина, с которым неизбежно сталкивается всякий радиолюбитель, именно термина «длина волны». Чтобы сделать более наглядными наши рассуждения, мы начнем с такого примера. Как известно, у каждого паровоза обычно бывают два рода колес — большие «ведущие» и маленькие — «бегуны». Ясно, что по отношению к рельсам все оси колес одного и того же паровоза движутся с одинаковой скоростью. Но если мы присмотримся к движению самих колес, то легко заметим, что маленькие колеса вертятся быстрее больших Это и понятно, так как для того, чтобы пройти

тот же путь, маленькие колеса должны сделать больше оборотов, чем большие. Если разные колеса катятся с одинаковой скоростью, то чем меньше колесо, тем меньше период его вращения (тем быстрее оно вращается). Между длиной окружности (или диаметром) колеса и периодом обращения колеса существует, следовательно, вполне определенная связь, которая накладывается условием, что скорость движения должна оставаться постоянной. Связь эта такова: при постоянной скорости движения длина окружности и период обращения должны быть прямо пропорциональны одно другому. Например, если длина окружности одного колеса вдвое больше, чем другого, то чтобы скорость их движения была одна и та же, нужно, чтобы период обращения вдвое большего колеса был вдвое больше. При этом, если скорость движения известна, то, зная длину окружности колеса, мы всегда можем определить период его обращения и, наоборот, по периоду обращения всегда можем определить размер колеса.

Для электромагнитных волн можно установить соотношения, аналогичные тем, которые мы сейчас вывели. При этом весьма существенным является то обстоятельство, что все электромагнитные волны, как мы уже говорили, распространяются с одинаковой скоростью. Но периоды электрических колебаний, создающих эти волны, могут быть различны— один больше, другой меньше. И точно так же как разных размеров колеса проходят за один период своего обращения (один оборот) различный путь (большие — больший, а меньшие—меньший) электромагнитные волны разного периода проходят за период разный путь. Чем меньше период колебаний, создающих электромагнитные волны, тем меньше и тот путь, который эти волны пройдут за один период. Но как мы знаем, период колебаний будет тем меньше, чем больше частота колебаний, и таким образом, чем больше частота колебаний, тем меньше тот путь, который электромагнитная волна проходит за время одного колебания (за один период). Этот путь, очевидно, соответствует в нашем примере пути, проходимому колесом за один его оборот. То расстояние, которое проходит электромагнитная волна за один период, называется **длиной волны**. Следовательно, длина волны будет тем меньше, чем больше частота колебаний, создающих эту волну. Как в случае колес, зная скорость движения и период обращения колеса, можно установить длину окружности колеса (и наоборот, зная скорость и длину окружности, установить период обращения), в слу-

чае электромагнитного поля, зная скорость распространения электромагнитной волны (300 000 *км/сек*) и период или частоту электрических колебаний, создающих эту электромагнитную волну, можно определить, какова будет длина этой волны Пусть, например, частота колебаний будет равна 1 000 000 *гц*, т. е. за 1 сек. будет происходить миллион колебаний, и следовательно, одно колебание будет продолжаться миллионную часть секунды. Так как электромагнитные волны проходят в 1 сек. 300 000 *км*, т. е. 300 000 000 *м*, то в нашем случае они успеют пройти за один период (одну миллионную секунды) 300 *м*. Следовательно, при частоте в миллион колебаний в секунду мы получим электромагнитные волны длиной в 300 *м*. Если период колебаний будет в 10 раз меньше (100 000 *гц*), то период одного колебания будет в 10 раз больше и длина волны будет также в 10 раз больше, т. е. 3 000 *м*. Зависимость между периодом и длиной волны выражается следующей формулой:

$$\lambda = cT,$$

где λ — длина волны (в метрах); c — скорость распространения волн (в *м/сек*) и T — период в секундах.

Если вместо периода T вставить в эту формулу частоту в герцах f, то

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$\left(\text{так как частота в герцах } f = \frac{1}{T}\right).$

Пользуясь этой формулой, можно определить длину волны, если известна частота колебаний. Так как $c =$ $= 300\,000\,000$ *м/сек*, то нужно 300 000 000 разделить на число колебаний в секунду, и тогда мы получим сразу длину волны в метрах. Наоборот, чтобы по длине волны определить частоту колебаний, нужно 300 000 000 *м* разделить на длину волны в метрах, и мы получим число колебаний в секунду. Радиовещательные станции, например, пользуются обычно волнами от 15 до 2 000 *м*, этим волнам соответствуют частоты от 20 000 000 до 150 000 *гц*. Более короткими, чем 15 *м*, и более длинными, чем 2 000 *м*, волнами радиовещательные станции пользуются редко, но более длинные волны — до 15 000 или даже 20 000 *м* и более короткие — до 1 *м* или даже короче (до нескольких сантиметров) применяются для

целей радиосвязи в различных специальных случаях. В частности, для телевидения применяются волны длиной в несколько метров. Таким образом, к группе радиоволн сегодня можно отнести волны от 20 000 *м* (частота 15 000 *гц*) до 3 *см* (частота 10 млн. *кгц* или 10 000 *мггц*). С развитием радиотехники эта область радиоволн расширяется в сторону более коротких волн.

Со стороны более коротких волн область радиоволн уже довольно близко подходит к области так называемых «невидимых световых волн», т. е. волн длиною от долей миллиметра до тысячных долей миллиметра. Эти волны не действуют на глаз человека, но обладают заметным тепловым действием, поэтому их часто называют также тепловыми волнами. Называют их также и инфракрасными волнами, так как они своей короткой частью непосредственно примыкают к области наиболее длинных видимых волн — именно волн, соответствующих красному цвету. Область видимого света занимает сравнительно небольшой участок, от волн длиной примерно в семь десятитысячных долей миллиметра, соответствующих красному цвету, до волн примерно в четыре десятитысячных доли миллиметра, соответствующих фиолетовому цвету. Более короткие электромагнитные волны (короче четырех десятитысячных долей миллиметра), так называемые ультрафиолетовые лучи, уже снова невидимы человеческим глазом, но они производят сильные химические действия, вызывают сильную ионизацию (см. ниже), фотоэффект и т. д. Еще дальше лежит область так называемых рентгеновых лучей, которые соответствуют волнам длиной в миллионные доли миллиметра (в тысячи раз короче волн видимого света) Эти лучи также невидимы глазом, они обладают способностью проникать сквозь тела, не проницаемые для волн более длинных.

Таким образом, радиоволны хотя и занимают огромную область волн от 20 000 *м* до сантиметров, но эта область составляет только незначительную часть всего огромного «спектра» электромагнитных волн.

16. ПРИЕМНАЯ АНТЕННА

Электрическое поле действует на проводники, которые находятся в поле: электрическое поле вызывает в проводниках перемещение электрических зарядов, т. е. электрический ток. Поэтому электрическое поле электромагнитной волны должно

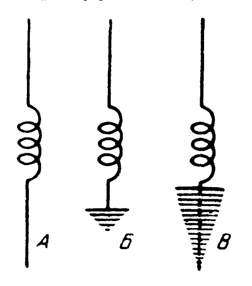
действовать на все проводники, мимо которых она проходит, и вызывать в них появление электрического тока. Частота и вообще характер этого тока в проводе будут точно такие же, как частота и характер изменений того электромагнитного поля, которое этот ток вызывает. Но само электромагнитное поле создано током в передающей антенне, и оно в свою очередь по своему характеру в точности соответствует тому току, который проходит в передающей антенне. Таким образом, если в какой-либо передающей антенне протекает быстропеременный ток, то во всех проводах, которых достигнет электромагнитное поле, созданное этой антенной, также возникает быстропеременный электрический ток; при этом ток во всех проводах будет гораздо слабее тока в передающей антенне, но по своему характеру он будет в точности соответствовать этому току. Электромагнитные волны, распространяясь во все стороны, возбуждают электрические колебания во всех проводах, лежащих на их пути, и для того, чтобы «уловить» волны, идущие от передающей станции, нужно на пути распространения этих волн поставить проводник достаточно больших размеров. Такие проводники, служащие специально для «улавливания» электромагнитных волн, идущих от передающей антенны, носят название п р и е м н ы х антенн. Роль приемной антенны в общем противоположна роли передающей антенны. В то время как передающая антенна служит для превращения электрических колебаний в электромагнитные волны, приемная антенна служит, наоборот, для превращения электромагнитных волн в электрические колебания. Когда электромагнитное поле, созданное передающей антенной, достигает приемной антенны, оно создает в этой антенне быстропеременные электрические токи, по своему характеру вполне подобные токам в передающей антенне. Таким образом и осуществляется радиопередача, т. е. передача сигналов без проводов. Антенну передающей станции питают быстропеременным электрическим током, и тогда во всех проводах (приемных антеннах), которых достигает электромагнитное поле, созданное этой передающей антенной, возникают точно такие же быстропеременные электрические токи. Токи эти, конечно, гораздо слабее того тока, которым питается передающая антенна, но по своему характеру в точности с ним совпадают и следуют за всеми теми изменениями, которые происходят с током в передающей антенне. И если изменения тока в передающей антенне будут соответствовать каким-либо определенным сигналам, то точно те же сигналы будут по-

вторены теми токами, которые возникают в приемных антеннах.

Чтобы эти сигналы были возможно более сильными, нужно, чтобы быстропеременные токи, возникающие в приемной антенне, также были возможно более сильными. Следовательно, приемную антенну следует устраивать так, чтобы приходящее электромагнитное поле возбуждало в приемной антенне возможно более сильные колебания. Какими же свойствами должна для этого обладать приемная антенна? Прежде всего приемная антенна должна быть устроена так, чтобы приходящее электромагнитное поле действовало на антенну возможно сильнее. Оказывается, что между свойствами передающей антенны и приемной антенны существует весьма тесная связь. Та антенна, которая создает наиболее сильное электромагнитное поле, вместе с тем является и наиболее чувствительной к воздействию приходящего электромагнитного поля. Поэтому так же как и передающая антенна, приемная антенна должна иметь достаточно длинную вертикальную часть, т. е. должна быть достаточно высокой. Горизонтальная часть играет в приемной антенне, так же как и в передающей, второстепенную роль, и размеры горизонтальной части приемной антенны не имеют существенного значения. Однако, по соображениям, которые будут изложены ниже, не следует делать горизонтальную часть антенны слишком длинной. Помимо размеров антенны, существенную роль играют и ее электрические качества. Именно для того, чтобы вынужденные колебания, создаваемые в приемной антенне приходящими электромагнитными волнами, были возможно более сильными, нужно, прежде всего, чтобы приемная антенна была настроена в резонанс с приходящими волнами; другими словами, частота собственных колебаний приемной антенны должна совпадать с частотой приходящего электромагнитного поля, т. е. с частотой электрических колебаний в передающей антенне. Достигается это путем настройки приемной антенны (о способах настройки приемной антенны на частоту передающей станции мы будем подробнее говорить ниже). Если приемная антенна будет настроена в резонанс с приходящими колебаниями, то амплитуда вынужденных колебаний будет наибольшей; но эта амплитуда зависит еще и от сопротивления приемной антенны. Поэтому другое условие, необходимое для того, чтобы токи в приемной антенне были достаточно сильны, — это малое сопротивление антенны Эти свойства антенны — большая высота, возмож-

ность настройки в резонанс и малое сопротивление,— главным образом, и определяют качества приемной антенны.

Очень существенное значение в работе как передающей, так и приемной антенны имеет заземление, роль которого сводится к следующему. Представим себе вместо прямого провода с катушкой самоиндукции посредине (фиг. 31,*А*) другой провод, вдвое более короткий, но в котором катушка самоиндукции включена не в середину, а в один из концов (фиг. 31,*Б*). Если мы второй конец этой катушки самоиндукции присоединим к земле, как указано на фигуре, то роль второй, отсутствующей в этом случае половины провода будет выполнять земля, которая также является проводником электричества (фиг. 31, *В*). Все будет происходить так же, как и в проводе с катушкой самоиндукции посредине, с той лишь разницей, что те же результаты будут получены с вдвое более коротким проводом, т. е. с вдвое более низкой антенной. Кроме того, и все приборы мы должны в этом случае включать в нижний конец антенны, а не в середину ее, как в случае *А*, что, конечно, гораздо проще. Поэтому на практике обычно применяют антенны с заземлением, за исключением антенн для наиболее коротких метровых и сантиметровых волн. Однако, нужно иметь в виду, что в этом случае земля представляет собой как бы вторую половину антенны, и, следовательно, малым сопротивлением должна обладать не только сама антенна, но и заземление. А для этого соединение (контакт) между землей и заземляющим проводом должно быть возможно более надежным. По тем же соображениям, как и для приемных антенн, заземление применяют и для антенн передающих.



Фиг. 31.

В передающих антеннах (а иногда и в приемных) заземление в некоторых случаях заменяют противовесом. Противовес представляет собой сеть проводов, натянутых над самой землей, но изолированных от земли; он представляет собой как бы искусственное заземление и так же, как и обычное заземление, заменяет нижнюю половину антенны. Устройство противовеса сложнее, чем устройство заземления, но противовес приходится применять тогда, когда заземление нельзя сделать хорошим (с малым сопротивлением).

В тех случаях, когда принимаемая станция находится очень близко и создает сильное электромагнитное поле (или если прием ведется на очень чувствительный многоламповый приемник), можно помириться с антеннами плохого качества, так как и на плохую антенну прием все же будет получаться достаточно громким. В качестве таких «плохих антенн» можно применять провода осветительной или телефонной сети [1], железную крышу дома и т. п. К числу таких «плохих» (малочувствительных) антенн, пригодных только для приема близких станций или для приема на очень чувствительные приемники, принадлежат также комнатные антенны и приемные рамки. Эти последние представляют собой рамки размером около метра, на которые намотано 8—10 (иногда 15—20) витков провода. Концы этого провода присоединяются к приемнику вместо антенны и заземления. По сравнению с обычными антеннами рамки обладают одной особенностью — они дают направленный прием, т. е. лучше всего принимают станции, расположенные в одном направлении, именно лежащие в плоскости рамки. Этим свойством рамок часто пользуются для различных целей.

17. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Итак, вокруг передающей антенны, т. е. провода, по которому проходит быстропеременный электрический ток, создается электромагнитное поле. Создаваемое передающей антенной электромагнитное поле будет тем сильнее, чем больше сила тока в передающей антенне. Поэтому, чтобы создать достаточно сильное поле, приходится питать антенну передающей станции достаточно сильным быстропеременным током.

Но как бы ни было сильно электромагнитное поле вблизи передающей антенны, вдали от нее это поле будет гораздо слабее, и чем дальше от передающей антенны, тем больше и больше оно будет ослабляться. Происходит это по следующим причинам. Прежде всего при распространении во все стороны от антенны энергия «рассеивается» в пространстве, так как она распространяется на все бо́льшие и бо́льшие области, и поэтому, чем дальше от передающей антенны, тем слабее электромагнитное поле в каждой данной точке. Кроме

[1] Включать приемник в провода осветительной или телефонной сети нужно обязательно через разделительный слюдяной конденсатор (см. ниже).

того, при распространении электромагнитное поле встречает на своем пути различные проводники, в которых оно вызывает электрические токи. На создание этих токов тратится часть энергии электромагнитного поля и потому при распространении электромагнитная энергия не только рассеивается, но и поглощается. Так как электромагнитные волны, излучаемые передающими радиостанциями, распространяются над поверхностью земли, в земной атмосфере, то электрические свойства земли и атмосферы играют очень важную роль при распространении электромагнитных волн. Когда электромагнитные волны распространяются вдоль земной поверхности, они вызывают электрические токи в земле, которая представляет собой не очень хороший, но все же проводник электричества. На создание этих токов также затрачивается часть энергии электромагнитных волн, и следовательно, электромагнитные волны ослабляются при распространении над поверхностью земли. Чем меньше сопротивление земли электрическому току, тем меньше поглощение электромагнитных волн в ней. Поэтому, например, электромагнитные волны лучше, с меньшими потерями, распространяются над поверхностью моря (морская вода хорошо проводит электричество), чем над сушей. При распространении радиоволн вдоль земли поглощение электромагнитных волн землей играет гораздо большую роль, чем их поглощение в атмосфере. Особенно сильно сказывается поглощение землей при распространении коротких волн. Чем короче волна, т. е. чем больше частота электромагнитного поля, тем сильнее электромагнитные волны поглощаются землей.

В случае коротких волн, короче 200 *м*, поглощение электромагнитных волн землей бывает настолько сильно, что передача такими волнами на большие расстояния была бы совершенно невозможной, если бы эти волны так же, как и более длинные, распространялись только непосредственно над земной поверхностью. Но короткие волны распространяются не только над самой поверхностью земли, но и высоко над землей — в верхних слоях атмосферы. Земля не поглощает коротких электромагнитных волн, идущих высоко над поверхностью земли, и они при распространении ослабляются в гораздо меньшей степени, чем длинные волны. Поэтому при помощи коротких электромагнитных волн часто удается передавать сигналы на расстояния, во много раз большие, чем те, которые можно покрыть с помощью длинных волн.

Однако, если бы короткие волны, распространяющиеся в верхних слоях атмосферы, совсем не возвращались к поверхности земли, то они не действовали бы на приемные антенны и радиосвязь на коротких волнах была бы невозможна. Радиосвязь на коротких волнах оказывается возможной потому, что в верхних слоях атмосферы происходит преломление коротких волн и они снова возвращаются на землю. Преломление коротких волн в верхних слоях атмосферы происходит потому, что эти слои обладают способностью проводить электрический ток в гораздо большей степени, чем нижние слои атмосферы, и поэтому верхние слои атмосферы действуют, грубо говоря, как зеркало, от которого короткие волны отражаются обратно к земле. Большая проводимость верхних слоев атмосферы вызывается целым рядом причин и, главным образом, влиянием солнца. Под действием излучения солнца молекулы газов, составляющих верхние слои атмосферы, распадаются на части. Вместо нейтральных молекул образуются частицы, несущие положительный или отрицательный заряд (ионы и электроны), а процесс их образования носит название ионизации. Чем больше электронов присутствует в атмосфере, т. е. чем сильнее ее ионизация, тем больше электрическая проводимость атмосферы. Условия преломления и отражения коротких волн зависят от степени ионизации верхних слоев атмосферы, лежащих на высоте нескольких сот километров над поверхностью земли. Эти слои атмосферы носят название и о н о с ф е р ы. Условия распространения коротких волн зависят от состояния ионосферы, от степени ее ионизации. А степень ионизации ионосферы не остается все время одной и той же. Так как ионизация вызывается солнцем, то днем и ночью, зимой и летом степень ионизации бывает совершенно различна. Кроме того, на состояние ионосферы влияет еще целый ряд причин. Поэтому короткие волны хотя и распространяются в большинстве случаев на очень большие расстояния, но условия их приема часто меняются; для обеспечения регулярности приема приходится, например, днем и ночью работать волнами разной длины.

В силу особенностей распространения электромагнитных волн принято различать две основные группы указанных волн, которыми пользуются для радиопередачи на большие расстояния. Длинные волны, длиннее 200 *м*, распространяются преимущественно над земной поверхностью. Вследствие поглощения энергии землей волны эти распространяются на сравнительно небольшие расстояния (обычно несколько сотен,

иногда тысячи километров), но зато условия распространения их сравнительно мало меняются. Короткие волны (короче 100 *м*) распространяются, главным образом, высоко над поверхностью земли и часто на очень большие расстояния. Но зато условия распространения коротких волн часто меняются, и прием их отличается нерегулярностью.

Кроме этих групп, как мы уже упоминали, за последнее время для целей радиосвязи стали применять очень короткие волны, длиной в несколько метров и даже в несколько сантиметров. Эти у л ь т р а к о р о т к и е волны по своим свойствам существенно отличаются от тех волн, которые принято называть короткими (т. е. волн длиной 10—100 *м*), так как распространение их происходит совершенно не так, как коротких волн. Ультракороткие волны обычно распространяются прямолинейно и не следуют за кривизной земной поверхности. Поэтому они пригодны для связи между двумя пунктами, лежащими в пределах прямой видимости, т. е. когда пункт, где находится передающая станция, не закрыт выпуклостью земного шара от того пункта, где находится приемная станция (правда, нередки случаи связи на ультракоротких волнах между пунктами, находящимися за пределами прямой видимости). Это обстоятельство сильно ограничивает область применения ультракоротких волн, но для связи на близких расстояниях эти волны применяются все шире и шире. Важное применение ультракоротких волн — передача телевидения. Для этой цели длинные и даже короткие волны не пригодны (по причинам, которые будут изложены в следующей главе). Большое преимущество ультракоротких (метровых), а тем более сантиметровых волн заключается в уменьшении размеров излучающих и принимающих устройств (передающей и приемной антенны). В связи с этим очень облегчается и решение вопроса о направленных передающих и приемных антеннах, т. е. о таких антеннах, которые излучают волны, главным образом, в одном направлении или принимают только волны, проходящие по одному направлению. В случае длинных волн эти направленные антенны должны быть таких огромных размеров, что практически они оказываются почти неосуществимы. Даже в случае коротких волн направленные антенны получаются все еще довольно сложными и громоздкими. Только для ультракоротких и сантиметровых волн остронаправленные антенны получаются сравнительно небольших размеров.

Таким образом применение ультракоротких и сантиметро-

вых волн не только позволяет значительно уменьшить размеры передающего и приемного устройства, но допускает при этих малых размерах применение направленной передачи и приема. Между тем направленная передача значительно увеличивает надежность связи, облегчает решение вопроса об устранении взаимных помех, о секретности передачи и т. д. Все эти преимущества и заставляют радиотехников уделять все больше и больше внимания ультракоротким и сантиметровым волнам. Кроме того эти, а также и другие преимущества ультракоротких и сантиметровых волн позволили применить их для различных специальных целей — определения положения различных объектов, например самолетов (радиолокация), определения направлений и расстояний (радионавигация, радиогеодезия) и так далее. Поэтому ультракороткие и сантиметровые волны играют в современной радиотехнике исключительно важную роль.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

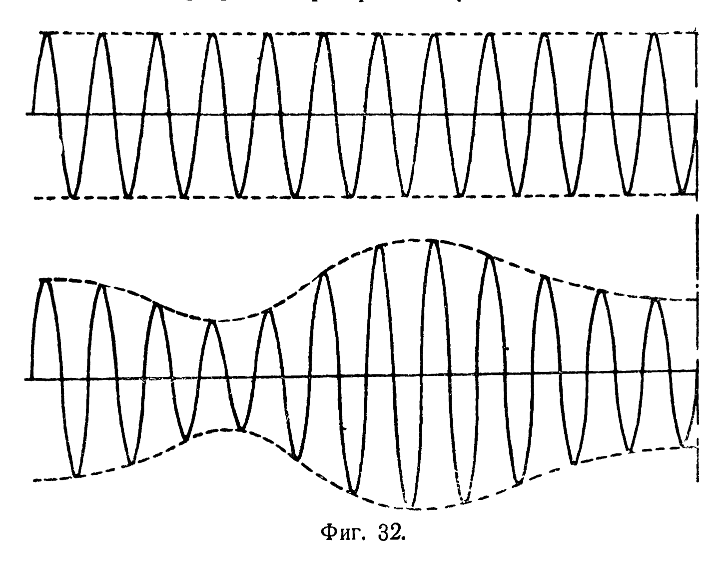
РАДИОТЕЛЕФОНИЯ

18. МОДУЛЯЦИЯ

Прежде чем перейти к рассмотрению вопросов радиоприема, необходимо предварительно познакомиться с тем, каким образом происходит передача звуков по радио, т. е. изложить основные принципы радиотелефонии.

Для того, чтобы передача электромагнитной энергии вместе с тем являлась передачей каких-либо сигналов или звуков, нужно электромагнитные колебания, создаваемые на передающей станции, п р о м о д у л и р о в а т ь, т. е. внести в них такие изменения, которые соответствовали бы передаваемым сигналам или звукам. Тогда эти измененные, промодулированные колебания, будучи принятыми на приемной станции, дадут возможность в приемнике снова воспроизводить все переданные звуки. Изменения, которые следует внести в характер колебаний, создаваемых передатчиком, могли бы состоять, например, в изменении амплитуды колебаний передатчика или в изменении частоты этих колебаний. Если эти изменения амплитуды или частоты колебаний будут совершаться в соответствии с теми звуковыми колебаниями, которые мы хотим передать, то на приемной станции мы смогли бы тем или иным образом воспро звести передавае-

мые звуки, которые известным образом были «записаны» на колебаниях передатчика. Из двух указанных возможностей— изменения амплитуды или частоты колебаний передатчика — сейчас для целей радиотелефонии применяется обычно первая, именно изменение амплитуды колебаний передатчика. Чтобы осуществить этот метод «записи» звуков на колебаниях передатчика, нужно сделать так, чтобы изменения сопротивления микрофона при разговоре изменяли амплитуду

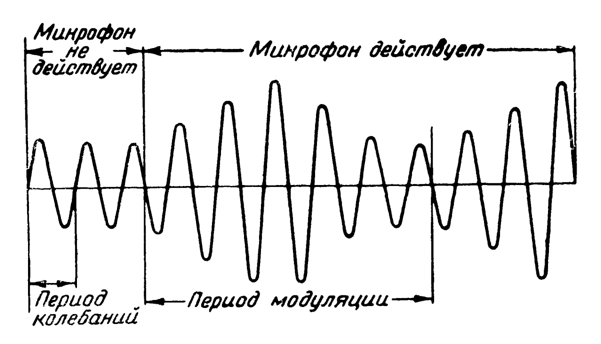


Фиг. 32.

колебаний передатчика. В таком случае вместо колебаний, амплитуда которых остается постоянной (фиг. 32, верхняя кривая), мы получим колебания, амплитуда которых изменяется по определенному закону (фиг. 32, нижняя кривая). Изменения амплитуды, которые происходят в этих колебаниях, соответствуют изменениям сопротивления микрофона, а потому, в конечном счете, тем звуковым колебаниям, которые попадают в микрофон. Таким образом более медленные звуковые колебания оказываются «нанесенными» на более быстрые электрические колебания примерно так же, как узор наносится на канву.

Рассмотрим подробнее, в чем состоит эта операция «нанесения узора» колебаний звуковой частоты на «канву» электрических колебаний высокой частоты — процесс модуляции

колебаний. Пока на микрофон передающей станции не действуют звуки, передатчик создает колебания с постоянной амплитудой, т. е. синусоидальные или гармонические. Если бы мы проследили, как изменяется со временем сила электрического тока в контуре, в котором происходят гармонические колебания, и затем изобразили бы эти изменения на фигуре, то мы получили бы знакомый нам график переменного электрического тока, приведенный на фиг. 12. Сила тока сначала возрастает до наибольшей величины, затем уменьшается до нуля; после этого ток начинает итти в обратном



Фиг. 33.

направлении, постепенно увеличиваясь до наибольшего значения и затем вновь уменьшаясь до нуля. После того, как закончился первый период, вся картина повторяется вновь, и каждый раз ток достигает тех же наибольших значений. В радиовещательных передатчиках эта картина повторяется несколько миллионов раз в секунду. Эти электрические колебания, если бы даже их удалось превратить в механические колебания каких-либо тел, не вызывали бы ощущения звука в человеческом ухе, так как их частота слишком велика. Следовательно, пока на микрофон передатчика не действуют звуки, в телефоне радиоприемника, принимающего эти колебания, ничего не будет слышно. Теперь представим себе, что перед микрофоном передатчика запел певец. Звуки его голоса—это колебания воздуха, которые попадают в микрофон и действуют на него, превращаясь из звуковых колебаний в электрические токи. Эти токи, в свою очередь действуют на передатчик и изменяют амплитуду колебаний в передатчике в соответствии с действующими звуковыми колебаниями. Вся эта картина изображена графически на фиг. 33.

Кривая изображает вначале обычные гармонические колебания, происходящие до того момента, когда начал действовать микрофон. В этот момент амплитуда колебаний начинает изменяться, и колебания из гармонических превращаются в модулированные.

Будем считать для простоты, что амплитуда модулированных колебаний изменяется периодически, т. е. что на микрофон действует один музыкальный тон постоянной высоты. В гармонических колебаниях мы можем обнаружить только один период (одну частоту) — период самих колебаний, в модулированных же колебаниях, амплитуда которых изменяется периодически, мы легко можем различить два периода и две разных частоты: во-первых, период самих высокочастотных колебаний и, во-вторых, период более медленный, с которым изменяется амплитуда колебаний, т. е. период модуляции. Он равен периоду звуковых колебаний, попадающих в микрофон. Таким образом, звуковые колебания оставляют свой след на электрических колебаниях передатчика — этот след заключается в изменениях амплитуды колебаний в передающей антенне. Но так как вид колебаний, получающихся в приемной антенне, совпадает с видом колебаний в антенне передатчика, то кривая, приведенная на фиг. 33, изображает вид колебаний не только в антенне передатчика, но и в приемной антенне. Так разрешается задача передачи звуков по радио (радиотелефония). При радиотелефонии нужно тем или иным методом перенести из передатчика в приемник те медленные колебания, которые соответствуют звукам, попадающим в микрофон. Сами по себе медленные электрические колебания, т. е. медленные переменные токи, не могли бы попасть из передатчика в приемник, так как для этого были бы необходимы какие-либо проводники. Поэтому для их переноса пользуются колебаниями высокой частоты, которые в виде электромагнитных волн распространяются без проводников Электромагнитные волны служат тем «средством сообщения», при помощи которого медленные колебания, соответствующие передаваемым звукам, попадают из передатчика в приемник.

Мы сравнили модулированные колебания с узором, нанесенным на канву При нанесении узора на канву, для того, чтобы он вышел возможно точным, необходимы два условия: во-первых, чтобы канва была достаточно мелкой, а, во-вторых, чтобы клетки канвы были везде одинаковыми. Примерно такие же условия надо предъявить и к электрическим коле-

баниям, чтобы нанесенный на них «узор» звуковых колебаний был воспроизведен достаточно точно. Во-первых, необходимо, чтобы это были электрические колебания, гораздо более быстрые, чем те звуковые колебания, которые на них наносятся. Это условие обычно соблюдается: наиболее быстрые звуковые колебания имеют частоту около 15 000 *гц*, передатчики же, которыми обычно пользуются для радиотелефонии, имеют частоту свыше 150 000 *гц*. Но для передачи телевидения нужна очень большая скорость передачи сигналов, которой соответствует частота модуляции в 1 *мггц* и даже выше. Поэтому для соблюдения указанного выше условия частота колебаний, создаваемых телевизионным передатчиком, должна быть не менее 30—50 *мггц*, т. е. волна телевизионного передатчика должна быть не длиннее 6—10 *м*. Именно поэтому, как уже упоминалось, ни длинные, ни даже короткие волны не пригодны для передачи телевидения.

Второе условие для случая электрических колебаний заключается в том, чтобы амплитуда этих колебаний всегда была одинакова; в противном случае, так же как на канву с неровными клетками, мы не сможем точно нанести звуковой «узор». Поэтому для целей радиотелефонии можно пользоваться только незатухающими колебаниями, а колебания, амплитуда которых не остается постоянной, для этой цели непригодны.

В приемной антенне, как уже говорилось, получаются точно такие же модулированные колебания, как и в антенне передающей станции, но, конечно, с меньшей амплитудой. Дальнейшая судьба этих модулированных колебаний будет такая же, как и судьба «узора», вышитого на канве. После того как узор вышит, канву выдергивают из-под него, так как она больше не нужна. В модулированных колебаниях выделяют из этих колебаний звуковой «узор», «выдергивая из-под него» электрические колебания высокой частоты, которые больше не нужны, так как свою задачу они выполнили — перенесли колебания звуковой частоты на приемную станцию. Освобожденный от «канвы» колебаний высокой частоты звуковой «узор», действуя на телефон, заставляет мембрану его колебаться и воспроизводить в точности те звуки, которые действовали на микрофон передатчика.

Задачу отделения «канвы» от «узора», т. е. разделения колебаний высокой и низкой частоты, выполняет детектор, а операция, при которой из модулированных колебаний высокой частоты выделяются составные части — колебания вы-

сокой частоты и колебания звуковой частоты, — называется **детектированием**. Следовательно, детектирование является процессом, как раз обратным модуляции. При модуляции на колебания высокой частоты накладывается «узор» колебаний звуковой частоты, а при детектировании из модулированных колебаний при помощи детектора выделяются колебания звуковой частоты.

19. ДЕТЕКТИРОВАНИЕ

Прежде всего мы установим, какими свойствами должен обладать детектор, чтобы выполнять свою роль, т. е. детектировать модулированные колебания.

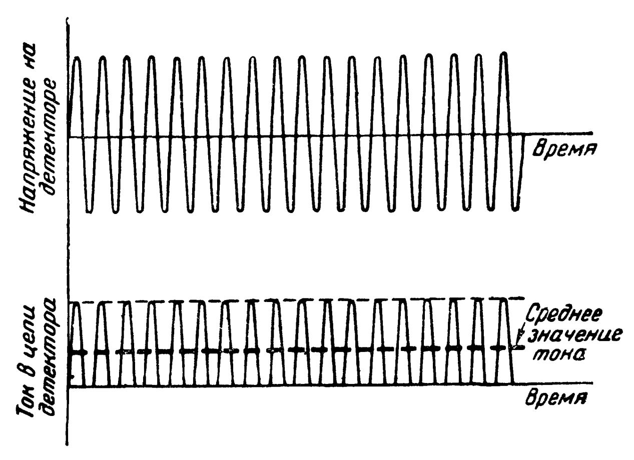
До тех пор, пока мы пропускаем модулированные колебания через какой-нибудь проводник, сопротивление которого всегда остается постоянным, т. е. не зависит от силы проходящего по проводнику тока или от величины подводимого к проводнику напряжения (такой проводник называют **омическим** проводником), форма модулированных колебаний будет оставаться неизменной. В зависимости от величины сопротивления амплитуда этих колебаний может быть больше или меньше, но никаких изменений в их форме не произойдет. Между тем задача детектирования — изменить форму модулированных колебаний таким образом, чтобы можно было выделить из колебаний высокой частоты колебания звуковой частоты. Нарушить форму колебаний можно, пропуская эти колебания через такой проводник, сопротивление которого не постоянно и зависит от направления и величины приложенного напряжения. Такой проводник называется **неомическим** проводником. Пропущенные сквозь такой проводник высокочастотные колебания исказятся и в результате этих искажений распадутся на составные части, т. е. на колебания низкой и высокой частоты. Следующая задача будет заключаться в том, чтобы эти разделившиеся колебания отделить друг от друга и использовать колебания низкой частоты, действующие на мембрану телефона. Как выполняется эта последняя задача, мы расскажем при рассмотрении процессов приема, а сейчас ограничимся рассмотрением вопроса о том, какой характер должны иметь те искажения, которые приводят к разделению колебаний высокой и низкой частоты.

Не всякие искажения, вносимые проводником, сопротивление которого зависит от направления и величины подводимых напряжений, в одинаковой степени помогают выделению

колебаний низкой частоты Чтобы такое выделение произошло, необходимо, чтобы неомический проводник обладал вполне определенным свойством — он должен оказывать разное сопротивление электрическим токам, проходящим в разных направлениях. В таком проводнике под действием приходящих колебаний будут в разных направлениях проходить токи разной силы. В самом деле, те же самые напряжения будут вызывать более сильный ток в том направлении, в котором проводник обладает меньшим сопротивлением. Поэтому в среднем за один период колебаний высокой частоты сила тока в проводнике уже не будет равна нулю (если бы проводник обладал одинаковым сопротивлением в обе стороны, то сила тока в обоих направлениях была бы одинакова и в среднем за период сила тока была бы равна нулю). Кроме токов высокой частоты приходящие колебания создадут в проводнике некоторый ток, идущий все время в одном направлении, в том, в котором проводник обладает меньшим сопротивлением. Пока амплитуда приходящих колебаний постоянна, этот ток, идущий в одном направлении, будет иметь также постоянную величину. Если же амплитуда приходящих колебаний изменяется, то изменяется соответствующим образом и сила тока, идущего в одном направлении. В результате кроме токов высокой частоты в цепи возникает еще ток постоянного направления, сила которого изменяется так же, как изменяется амплитуда приходящих колебаний. Этот ток, следовательно, воспроизводит те низкочастотные колебания, которые воздействовали на передатчик и модулировали токи высокой частоты. Таким образом, в проводнике, обладающем неодинаковым сопротивлением в обе стороны, под действием модулированных колебаний возникают не только токи высокой частоты, но и токи низкой частоты, соответствующие колебаниям в цепи микрофона передатчика Появление токов низкой частоты обусловлено именно этим особым свойством проводника — его неодинаковым сопротивлением в разных направлениях. И чем сильнее различается сопротивление проводника в двух направлениях тем лучше он детектирует

Чтобы пояснить процесс детектирования и показать, почему именно неодинаковое сопротивление проводника в двух направлениях делает его детектором, рассмотрим идеальный случай, когда проводник в одном направлении обладает небольшим сопротивлением, а в другом вовсе не пропускает тока (т. е. его сопротивление в этом направлении бесконечно

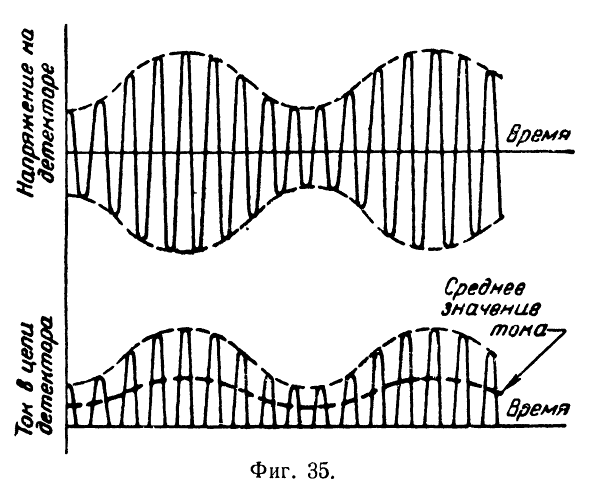
велико) В таком случае детектор будет пропускать только одну «половину» каждого колебания, например верхнюю (фиг. 34). Пока подаваемые на детектор колебания не модулированы, все пропущенные детектором импульсы будут иметь одну и ту же высоту. Это значит, что среднее значение силы тока, проходящего через детектор, будет все время оставаться неизменным. Следовательно, импульсы неизменной высоты можно рассматривать, как некоторый постоянный ток и наложенные на него колебания высокой частоты. Если



Фиг. 34.

же подаваемые на детектор колебания — модулированные (фиг. 35), то высота импульсов будет изменяться в соответствии с амплитудой модулированных колебаний. Поэтому и среднее значение силы тока, проходящего через детектор, будет изменяться в соответствии с амплитудой модулированных колебаний. Следовательно, импульсы, полученные в результате детектирования модулированных колебаний, представляют собой ток, идущий в одном направлении, но медленно изменяющийся по величине, в соответствии с модуляцией. А это и значит, что проводник, пропускающий ток только в одном направлении, выделяет из модулированных колебаний ток низкой частоты, форма которого соответствует кривой модуляции, т. е. детектирует колебания. Из этого рассмотрения ясно, что эффект детектирования обусловлен именно неодинаковой проводимостью детектора в двух направлениях.

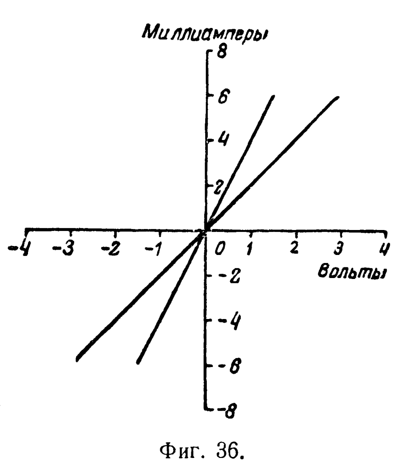
И если в другом направлении он тоже пропускает ток, но его сопротивление в двух направлениях очень различно, то вся картина будет несколько сложнее, но принципиально она будет такой же, как в рассмотренном идеальном случае. Всякий проводник с неодинаковым сопротивлением в двух направлениях будет детектировать модулированные колебания и тем лучше, чем больше разница в сопротивлении в двух направлениях.



Фиг. 35.

Свойства всякого проводника можно графически изобразить таким образом. Если по горизонтальной оси откладывать величину напряжения, подводимого к проводнику, а по вертикальной оси соответствующую этому напряжению силу тока, то каждая точка на нашем графике будет соответствовать определенному режиму в цепи. В тех случаях, когда проводник обладает постоянным сопротивлением, не зависящим от направления и величины подведенных напряжений, мы получим, очевидно, ряд точек, лежащих на одной прямой линии (фиг. 36). Эта линия получится прямой потому, что сила тока в проводнике будет пропорциональна напряжению, к нему подведенному. Если, например, мы увеличим подведенное напряжение в два раза, то и сила тока в проводнике увеличится в два раза. Точно так же при изменении напряжения, подведенного к проводнику, на обратное, — например при напряжении (—1 *в*) вместо напряжения (+1 *в*), — сила тока получит обратное направление, но ту же самую ве-

личину Если мы условимся в одном направлении от нуля откладывать напряжения и силы токов, направленные в одну сторону, а в другом направлении — напряжения и силы токов, направленные в другую сторону, то мы и получим одну из прямых линий, изображенных на фиг 36. Ясно, что эта прямая будет подниматься тем круче, чем меньше сопротивление проводника, так как одним и тем же напряжениям будут в случае меньших сопротивлений соответствовать бо́льшие силы токов Таким образом, свойства омического проводника могут быть изображены прямой линией, наклон которой будет указывать величину сопротивления этого проводника — чем больше сопротивление проводника, тем больше наклон прямой, тем более полого проходит эта прямая Линия, изображающая графически зависимость между напряжением и силой тока для какого-либо проводника, называется **характеристикой** этого проводника, и следовательно, характеристикой омического проводника является прямая линия. Обе прямые на фиг. 36 являются характеристиками омических проводников, но имеющих разное сопротивление.



Фиг. 36.

Совершенно другую характеристику мы получим в случае неомических проводников. Очевидно, что если проводник обладает сопротивлением, различным в обе стороны, то характеристика проводника уже не будет прямой линией. Если бы сопротивление какого-либо проводника оставалось в одном направлении постоянным при всяких напряжениях и изменялось бы только при изменении знака напряжения, то характеристика такого проводника имела бы вид ломаной линии (фиг. 37). Однако, реальные проводники никогда не обладают такими свойствами. Во всяком неомическом проводнике сопротивление зависит не только от направления, но и от величины приложенного напряжения. В таком случае характористика проводника имеет вид кривой линии, причем в том направлении, в котором проводник обладает меньшим

сопротивлением, линия будет подниматься круче, а в обратном направлении, в котором сопротивление проводника больше, она будет опускаться более полого. Пример такой характеристики приведен на фиг. 38. Очевидно, что при положительных напряжениях проводник, характеристика которого приведена на фиг. 38, обладает меньшим сопротивлением, чем при огрицательных.

Основное отличие характеристики неомического проводника (фиг. 38) от характеристики омического (фиг. 36) заключается в том, что характеристика первого проходит по-разному по обе стороны от горизонтальной оси: она несимметричн относительно начальной точки, в то время как характеристика обычного омического проводника симметрична относительно начальной точки. Это основное свойство характеристик, приведенных на фиг. 38, позволяет применять обладающий такой характеристикой проводник в качестве детектора Как мы уже говорили, чем больше разница в сопротивлениях проводника в различных направлениях, тем лучше он детектирует. Таким образом, взглянув на характеристику какого-либо неомического проводника, мы можем сразу сказать, будет ли он служить хорошим или плохим детектором, и если мы хотим получить хороший детектор, то мы должны стремиться к тому, чтобы его характеристика была возможно более несимметричной.

Фиг. 37.

Фиг. 38.

Выяснив, какими свойствами должен обладать детектор, мы опишем вкратце устройство простейшего, так называемого кристаллического, детектора.

20. КРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ ДЕТЕКТОР

В детекторе мы должны создать такие условия, при которых ток в одну сторону проходил бы легче, чем в другую. С этой целью можно, например, применить контакт из двух проводников, имеющих разную форму или сделанных из разных материалов. Таким образом, простейшим детектором может служить всякий контакт, составленный из двух проводников разной формы, например острия и пластинки. Электро-

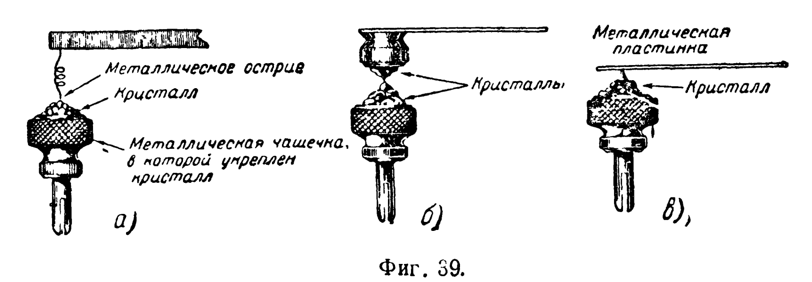
ны с острия на пластинку будут переходить легче, чем с пластинки на острие, и, следовательно, контакт будет в обе стороны обладать разной проводимостью Но в таком детекторе, в котором оба проводника сделаны из одного материала и отличаются только своей формой, разница в проводимости в обе стороны будет сравнительно невелика, и детектор будет работать плохо Чтобы улучшить работу детектора, применяют обычно проводники не только разной формы, но и сделанные из разных материалов Тогда разница в проводимости детектора в обе стороны может еще более увеличиться, и характеристика станет еще более несимметричной Чаще всего в качестве материалов для детектора применяется или металлический проводник и какой-либо мелкокристаллический минерал, обладающий электрической проводимостью, или два различных кристаллических минерала Эти мелкокристаллические минералы в радиотехнической практике называют (конечно, неправильно) «кристаллом» Детекторы, в которых применяется «кристалл», называются «кристаллическими детекторами»

Кристаллические детекторы являются простейшими из всех типов детекторов Вместе с тем они достаточно чувствительны, т е отзываются на сравнительно слабые колебания и их детектируют Если бы не электронная лампа, которая применяется для целей усиления и попутно позволяет осуществить детектирование, то кристаллический детектор был бы, пожалуй, единственным практически пригодным детектором для радиоприемника Но в ламповых приемниках применять его нецелесообразно Однако, поскольку ламповые приемники требуют источников питания и сравнительно сложны по устройству, детекторный приемник с кристаллическим детектором, как наиболее простой и дешевый, находит себе широкое применение

Основные типы кристаллических детекторов, применяемых в радиолюбительской практике, изображены на фиг 39 На фиг 39,*а* изображен так называемый галеновый детектор Одним контактом этого детектора является «кристалл» гален, а другим — металлическое (стальное, серебряное или медное) острие Второй из распространенных детекторов, так называемый «периконовый» детектор, изображен на фиг 39,*б* В этом детекторе в качестве обоих контактов применены кристаллы, но кристаллы разного рода (цинкит и халькопирит) Наконец, третий из распространенных детекторов, так называемый карборундовый, изображен на фиг 39,*в* — в нем в ка-

честве кристалла применен карборунд, а роль другого контакта играет металлическая пластинка.

Несмотря на различные устройства всех трех детекторов, принцип их действия в сущности один и тот же. Разница между этими типами детекторов заключается лишь в том, что в каждом из них роль острия играет не один и тот же контакт. В первом случае острием является металл, в третьем, наоборот,— кристалл, что же касается второго случая, то там острием также служит кристалл, но только или тот или другой, в зависимости от того, в какой именно точке эти кри-



Фиг. 39.

сталлы касаются друг друга (в одном случае острая грань одного кристалла прикасается к плоской грани другого кристалла, в другом случае может быть наоборот).

Во всех трех случаях мы имеем, с одной стороны, контакты разной формы, а с другой, — особенности, вызванные свойствами кристаллов. Обе эти причины вызывают несимметрию в проводимости, и если обе эти причины действуют согласно, т. е. облегчают переход электронов в одном направлении и затрудняют его в другом, то мы имеем сильную несимметрию детектора; если же они действуют навстречу, т. е. форма контактов помогает переходу электронов в одном направлении, а свойства кристалла — в другом, то несимметрия уменьшается, и в этом случае детектор будет работать плохо. Таким образом, чтобы детектор работал хорошо, нужно найти такие положения контактов, при которых обе причины будут действовать согласно; поэтому-то любителю иногда приходится тратить много времени на то, чтобы настроить детектор и найти «точку», т. е. положение контакта, при котором он хорошо детектирует.

Неодинаковой проводимостью в двух направлениях может обладать не только контакт между двумя кристаллами или

кристаллом и металлом, но и контакт между некоторыми металлами и металлическими соединениями, принадлежащими к числу так называемых полупроводников. Так, например, неодинаковой в двух направлениях (практически почти односторонней) проводимостью обладает контакт между слоями меди и закиси меди, применяемый в так называемом купроксном детекторе или цвитекторе (купроксы применяются не только в качестве детекторов, но и для выпрямления сравнительно сильных переменных токов). В купроксном и других детекторах такого же типа которые сейчас входят в практику, слои, между которыми осуществляется односторонняя проводимость, плотно наносятся один на другой. Поэтому в таких детекторах, конечно, не нужно отыскивать «точку», и эти детекторы иногда называют «детекторами с постоянной точкой», хотя в них детекторный контакт осуществляется не в одной точке, а в целом слое.

На этом мы закончим рассмотрение вопроса о модуляции и детектировании.

Мы уже знаем, как возникают и распространяются электромагнитные волны и как при помощи этих волн можно передавать на расстояние звуки, не пользуясь проводами. Мы, следовательно, уже знаем, в чем заключается принцип радиопередачи, и теперь можем перейти к рассмотрению устройства и действия радиоприемника.

ГЛАВА ПЯТАЯ

ДЕТЕКТОРНЫЙ ПРИЕМНИК

21. ПРИЕМНЫЙ КОНТУР

Каждая передающая радиостанция создает электрические колебания установленной для нее определенной частоты, обычно отличной от частоты колебаний других передающих станций. Колебания, происходящие в антенне передатчика, распространяются в виде электромагнитных волн, и эти волны действуют на всякую приемную антенну и вызывают в ней такие же колебания, как и в передающей антенне, но только гораздо меньшей амплитуды. Таким образом, во всякой приемной антенне происходят вынужденные колебания, которые возникают в ней под действием электромагнитных волн всякой передающей радиостанции, достигших приемной антенны. Если мы хотим, чтобы работа какой-либо из этих станций вызывала достаточно сильные колебания в приемной

антенне (чем сильнее эти колебания, тем громче слышна принимаемая станция), то мы должны прежде всего позаботиться о том, чтобы создать наивыгоднейшие условия для возникновения в приемной антенне вынужденных колебаний вызываемых этой станцией Чтобы вынужденные колебания в приемной антенне имели наибольшую амплитуду, нужно сделать так, чтобы антенна была настроена на ту же частоту, на которой работает принимаемая радиостанция. Тогда будет иметь место явление резонанса и вынужденные колебания будут наиболее сильными.

Однако, различные станции создают колебания различной частоты, и чтобы иметь возможность принимать любую станцию, нужно иметь возможность настроить антенну на частоту любой из этих передающих радиостанций При этом чем точнее настроен приемник на частоту передающей станции, тем больше амплитуда вызванных этой станцией вынужденных колебаний. Настройка эта производится присоединением к антенне емкости и индуктивности нужной величины, и эти емкость и индуктивность вместе с антенной образуют колебательный контур. В простейших приемниках этот колебательный контур является единственным и вся настройка на нужную станцию сводится к настройке только этого приемного контура. Приемный контур должен обеспечить настройку на любую из частот, лежащих в определенных пределах. Тот участок частот, в пределах которого мы можем изменять настройку приемного контура, называется диапазоном приемника: простейший радиовещательный приемник обычно имеет диапазон частот от 150 000 до 1 500 000 *гц* (т. е. диапазон волн от 2 000 до 200 *м*).

В более современных приемниках помимо этого диапазона устраивается еще коротковолновый диапазон, предназначенный для приема радиовещательных станций, работающих на коротких волнах (так называемые всеволновые приемники).

Чтобы принять какую-либо радиостанцию, нужно приемный контур настроить на ту частоту, на которой эта станция работает. Эту операцию выполняет всякий радиолюбитель, когда он, вращая ручку приемника, «ловит» какую-либо станцию. При вращении ручек изменяется величина емкости или индуктивности, входящих в приемный контур, и вместе с тем изменяется и частота собственных колебаний этого контура. Когда частота собственных колебаний приемного контура со-

падает с частотой принимаемой станции, наступает резонанс, и именно в этом положении амплитуда вынужденных колебаний получается наибольшей, и принимаемая станция слышна наиболее громко. Таким способом из всех работающих станций, которые на нашем приемнике могут быть слышны, мы имеем возможность выбрать ту, которую мы хотим слушать. Однако, хотя обычно различные станции работают разными частотами, на практике не всегда удается сделать так, чтобы была слышна только нужная нам станция, а все другие вовсе не были слышны. К этому вопросу мы вернемся позднее.

22. НАСТРОЙКА ПРИЕМНИКА

Теперь читателю должно быть ясно, почему приемник снабжается рукоятками. Эти рукоятки служат для настройки приемника в резонанс с теми колебаниями, которые создает передающая радиостанция. Если бы приемник не имел рукояток, то он был бы настроен на одну определенную частоту колебаний и мог бы принимать только ту станцию, которая работает этой именно частотой. Такие приемники иногда делаются, они называются приемниками с «фиксированной настройкой», но они, конечно, очень неудобны, так как позволяют слушать только одну станцию; поэтому их употребляют очень редко. С другой стороны, если бы все станции работали одной частотой (одной длиной волны), то это было бы еще более неудобным, так как не было бы никакой возможности отделить одну станцию от другой и принимать из них только нужную. Все станции были бы слышны одновременно и мешали бы друг другу. Поэтому приходится усложнять устройство приемника. Приходится делать так, чтобы разные передатчики работали разными волнами, а приемники делать с настройкой, которая позволяет принимать не одну определенную, а любую станцию, работающую в определенном диапазоне. Так как разные станции работают разными волнами, разбросанными по всему диапазону, то, чтобы можно было принимать любую из этих станций, нужно иметь возможность настраивать приемник на любую частоту (любую длину волны) в пределах этого диапазона. Другими словами, необходимо иметь приемник, который при настройке изменял бы свою частоту непрерывно. Если бы настройка приемника изменялась не непрерывно, то в диапазоне приемника были бы участки, на которые нельзя получить настройку (так называе-

мые «провалы» в диапазоне) и станции, работающие в этом участке диапазона, нельзя было бы принимать.

Для непрерывной настройки приемника служат переменные емкости и самоиндукции, т. е. такие емкости и самоиндукции, величину которых можно изменять в определенных пределах. Настройка приемника будет изменяться плавно и непрерывно только в том случае, если изменение самоиндукции или емкости приемника при его настройке также будет происходить плавно и непрерывно. Поэтому во всяком приемнике с плавной настройкой устраивается или непрерывно меняющаяся емкость или непрерывно меняющаяся самоиндукция. В качестве непрерывно изменяющейся емкости пользуются конденсаторами переменной емкости; иногда для непрерывной настройки применяют так называемый вариометр — плавно меняющуюся самоиндукцию.

Кроме непрерывности настройки от приемника требуется также, чтобы он перекрывал большой диапазон; для этого изменение емкости или самоиндукции в приемном контуре должно быть настолько велико, чтобы настройка приемного контура изменялась в нужных пределах. Между тем емкость обычного переменного конденсатора или индуктивность обычного вариометра меняется только в определенных и не слишком широких пределах, не более чем в 10—15 раз. В этих пределах изменяется емкость самого переменного конденсатора или индуктивность самого вариометра; между тем в каждом приемном контуре помимо переменного конденсатора присутствуют и другие емкости. Вследствие этого пределы изменения емкости контура будут всегда меньше, чем пределы изменения емкости самого конденсатора. Точно так же вследствие того, что во всяком контуре с вариометром присутствуют и некоторые добавочные самоиндукции, пределы изменения индуктивности контура будут всегда меньше, чем пределы изменения индуктивности самого вариометра. Мы вернемся еще раз к этому вопросу и тогда поясним его соответствующими количественными примерами, пока же примем во внимание, что в силу указанных причин редко удается получить плавное изменение емкости контура (при помощи переменного конденсатора) или плавное изменение индуктивности контура (при помощи вариометра) более чем в 6—9 раз

Как помнит читатель, период собственных колебаний в контуре пропорционален корню квадратному из произведения емкости и индуктивности Это означает, что при изменении индуктивности или емкости в 6 или 9 раз период собствен-

ных колебаний в контуре изменится соответственно только в $2^1/_2$ (приблизительно) или 3 раза; во столько же раз изменится и длина волны, на которую настроен приемный контур. Таким образом, один переменный конденсатор, или один вариометр обеспечивает плавное изменение волны только в $2^1/_2$, в лучшем случае, в 3 раза, т. е. может дать настройку приемника на любую волну в пределах, например, от 200 до 600 *м* или от 600 до 1 800 *м*. Поэтому, чтобы получить настройку в более широком диапазоне, приходится кроме вариометра или переменного конденсатора пользоваться еще добавочными емкостями или самоиндукциями. Сами по себе эти добавочные емкости и самоиндукции не должны давать плавного изменения волны, но вместе с переменным конденсатором или вариометром они должны давать плавную и непрерывную настройку.

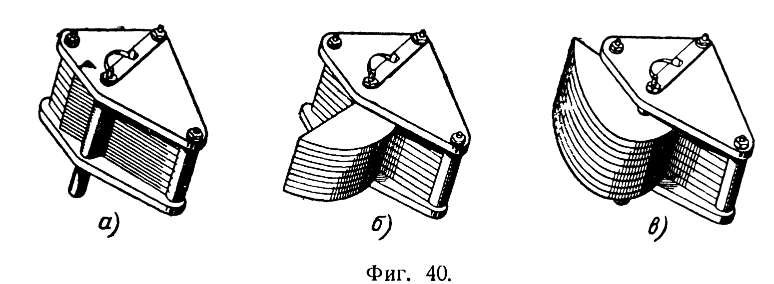
Так как переменная емкость и переменная самоиндукция являются основными элементами всякого приемника, то, прежде чем говорить об устройстве различных приемников, мы должны описать устройство переменных емкостей и самоиндукций.

23. ПЕРЕМЕННЫЙ КОНДЕНСАТОР

Как известно, емкость конденсатора зависит от расстояния между его обкладками, от величины поверхности обкладок и от свойств диэлектрика, находящегося между обкладками. При этом величина емкости определяется не всей поверхностью обкладок, а той частью поверхности, которая непосредственно участвует в образовании основного электрического поля между обкладками и которая носит название «рабочей поверхности» обкладок.

Конденсаторы, в которых размер пластин и расстояние между ними не могут изменяться, обладают вполне определенной постоянной емкостью. Для изменения емкости конденсатора нужно изменять одну из тех величин, от которых эта емкость зависит, например расстояние между обкладками или рабочую поверхность обкладок. Этим последним способом в большинстве случаев и пользуются для построения конденсаторов переменной емкости. Для изменения рабочей поверхности пластин одну группу пластин закрепляют неподвижно, а другую группу насаживают на ось, вместе с которой пластины могут вращаться (фиг. 40). При вращении подвижных пластин они больше или меньше вдвигаются в

промежутки между неподвижными пластинами, вследствие чего рабочая поверхность пластин будет изменяться и емкость конденсатора будет или увеличиваться, или уменьшаться. Ясно, что чем больше вдвинуты подвижные пластины между неподвижными, тем больше будет рабочая поверхность обкладок и тем больше будет емкость конденсатора. Когда

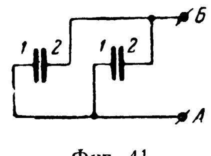


Фиг. 40.

пластины вдвинуты доотказа, мы получаем наибольшую (максимальную) емкость конденсатора (фиг. 40,*а*), наоборот, когда пластины выдвинуты возможно дальше, мы получаем наименьшую (минимальную) емкость конденсатора (фиг. 40,*в*). На фиг. 40,*б* изображено промежуточное положение пластин, когда емкость конденсатора составляет примерно половину его максимальной емкости.

24. СОЕДИНЕНИЕ ЕМКОСТЕЙ

Установим теперь, какова будет емкость электрической цепи, если мы составим эту цепь из нескольких конденсаторов, соединенных между собой. Для простоты положим, что мы имеем две пары пластин одинаковых размеров и на одинаковом расстоянии друг от друга. Такие две пары пластин образуют одинаковые электрические емкости. Теперь соединим эти пластины между собой параллельно, т. е. так, как указано на фиг. 41 (первую пластину одной пары с первой пластиной другой и с началом цепи, т. е. точкой *А*, а вторую пластину одной пары со второй пластиной другой и с концом цепи, т. е. точкой *Б*). При таком соединении мы как бы увеличиваем вдвое поверхность пластин одной пары и получаем пару пластин вдвое большей поверхности. От этого,



Фиг. 41.

как известно, вдвое увеличивается емкость конденсатора Таким образом, при параллельном соединении двух одинаковых емкостей мы получаем между точками *А* и *Б* цепь, обладающую емкостью, вдвое большей, чем каждая из двух соединяемых емкостей Вообще, если мы соединяем две емкости параллельно, то получаем емкость, которая равна сумме обеих соединенных емкостей. Другими словами, *при параллельном соединении емкости складываются*, так как при этом как бы увеличивается общая поверхность пластин, образующих емкость. Связь между величиной отдельных соединяемых емкостей и общей емкостью параллельно соединенных конденсаторов выражается формулой

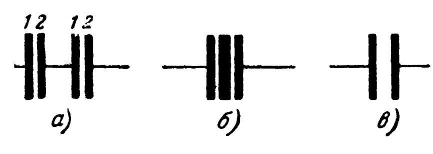
$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots,$$

где C — общая емкость, а C_1, $C_2, \ldots$ — емкости, соединенные параллельно.

Две емкости можно соединить между собой и иначе — не параллельно, а последовательно, как указано на фиг. 42. В этом случае первую пластину первой пары соединяют с началом цепи, т. е. с точкой *А*, вторую пластину первой пары — с первой пластиной второй пары, а вторую пластину второй пары с точкой *Б*, т. е с концом цепи Какова же будет в этом случае общая емкость обоих конденсаторов, т е емкость цепи между точками *А* и *Б*? При таком соединении (фиг 43,*а*) средние пластины, соединенные вместе (вторая первой пары и первая второй пары), как бы перестают участвовать в образовании емкости Мы можем себе представить такое соединение несколько иначе, а именно считать, что эти пластины слились между собой и образуют одну общую пластину, ни к чему не присоединенную (фиг. 43,*б*) Эту пластину можно просто удалить — емкость конденсатора от этого не изменится; мы получим обычный конденсатор (фиг. 43,*в*), но с расстоянием между пластинами вдвое большим, чем в каждом из соединенных конденсаторов (расстояния между пластинами складываются) Таким образом, если мы имели сначала две пары одинакового размера пластин, находящихся на одинаковом расстоянии друг от друга, то теперь получим только одну пару пластин того же размера, но находящихся на расстоянии вдвое большем От этого емкость всей системы уменьшится вдвое Следователь-

Фиг. 42.

но, если мы имеем две одинаковые емкости и соединяем их последовательно, то мы получим цепь, емкость которой вдвое меньше, чем каждая из соединяемых емкостей. Вообще, если мы имеем две емкости, соединенные последовательно, то можем считать, что при таком соединении мы как бы увеличиваем расстояние между пластинами. Таким образом, при последовательном соединении нескольких емкостей общая емкость получается меньше, чем каждая отдельная из соединяемых емкостей, так как при последовательном соединении емкостей как бы увеличивается расстояние между обкладками того воображаемого конденсатора, которым мы заменили наши включенные последовательно конденсаторы. Связь между величинами всех соединяемых емкостей и величиной общей емкости цепи, состоящей из последовательно соединенных конденсаторов, выражается формулой



Фиг. 43.

$$\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}+\ldots$$

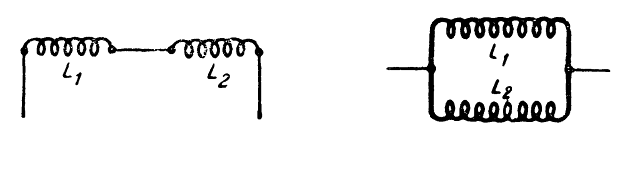
Здесь C — общая емкость цепи, а C_1, C_2, C_3,..—емкости, соединенные последовательно Из этой формулы видно, что общая емкость меньше любой из соединенных последовательно емкостей.

Как видно из сказанного, изменения емкости, входящей в данный колебательный контур, мы можем достигнуть, либо применяя переменный конденсатор, либо присоединяя к той емкости, которая уже имеется в контуре, какую-либо другую емкость последовательно или параллельно.

25. ИЗМЕНЕНИЕ ИНДУКТИВНОСТИ

Как и всякие проводники, две катушки самоиндукции можно включать в цепь двумя способами — последовательно и параллельно Последовательное включение в цепь двух самоиндукций показано на фиг. 44, а параллельное—на фиг. 45. Общая самоиндукция цепи, состоящей из двух или нескольких катушек самоиндукции, определяется по тем же законам, как и общее омическое сопротивление цепи, состоящей из не-

скольких проводников. Именно, если индуктивность отдельных катушек есть L_1, L_2, L_3, то цепь, состоящая из этих катушек, включенных последовательно, будет иметь индуктивность $L = L_1 + L_2 + L_3 + \ldots$ Другими словами, при последовательном включении нескольких самоиндукций все отдельные индуктивности складываются, и следовательно, общая индуктивность всей цепи больше, чем индуктивность каждой отдельной катушки, входящей в эту цепь Наоборот, при параллельном включении самоиндукций общая индуктивность всей цепи определяется как



Фиг. 44. Фиг. 45.

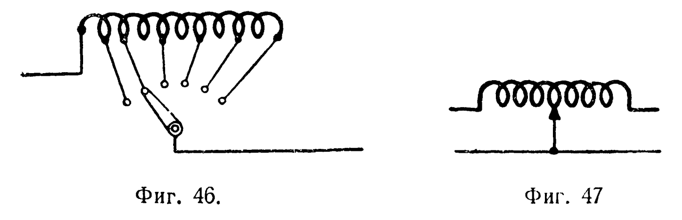
$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \ldots$$

Следовательно, она уменьшается и всегда будет меньше, чем индуктивность самой меньшей из катушек, включенных в эту цепь

Таким образом, изменения индуктивности контура можно достигнуть, применяя последовательное или параллельное включение самоиндукций. Но для этой же цели можно воспользоваться тем обстоятельством, что индуктивность катушки зависит от числа ее витков. Чтобы изменить индуктивность катушки, включенной в какую-либо цепь, можно, например, катушку разделить на части — секции и от каждой из секций сделать отводы. Такие катушки называются секционированными (фиг. 46). Включая при помощи ползунка то или другое количество секций, мы изменяем величину самоиндукции, включенной в цепь. Чем больше секций (а следовательно, и витков) катушки включено в цепь, тем больше индуктивность цепи. При таких переключениях число витков, включенных в цепь, и их индуктивность изменяются скачками. Более плавно можно менять индуктивность при помощи ползунка, который может передвигаться вдоль витков катушки (фиг. 47) Ползунок можно переставлять на

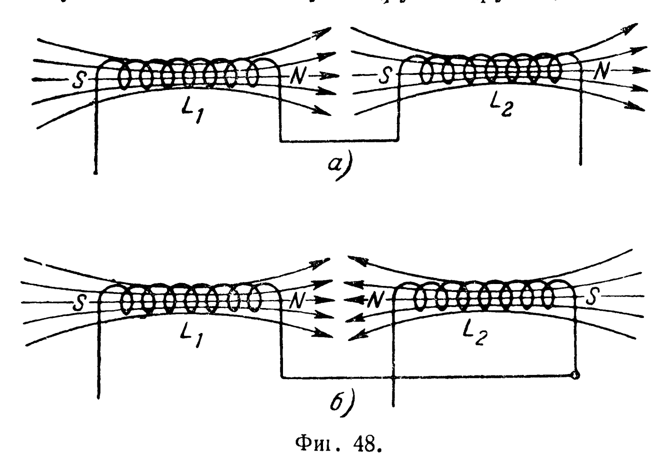
один виток, и тогда индуктивность будет изменяться более плавно, чем в секционированной катушке.

Когда мы говорили о последовательном и параллельном включении в цепь самоиндукций, мы предполагали, что все катушки самоиндукции находятся так далеко друг от друга.



Фиг. 46. Фиг. 47

что магнитное поле одной катушки не действует на все остальные катушки. Но если две катушки находятся близко друг от друга, так что поле первой катушки действует на вторую, и наоборот, т. е. другими словами, магнитные поля обеих катушек взаимодействуют друг с другом, то наши рас-



Фиг. 48.

суждения будут уже неверны. Общая индуктивность всей цепи будет зависеть не только от способа включения катушек, но и от их взаимного расположения.

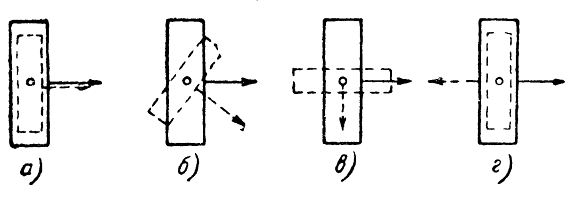
Рассмотрим, например, расположение включенных последовательно катушек, указанное на фиг. 48,*а*; поля обеих катушек будут направлены в одну сторону, если катушки намотаны в одном направлении (так как направление тока в

них одно и то же). Но если эти катушки взаимодействуют, т. е. магнитное поле катушки L_1 действует на витки катушки L_2 и наоборот, то к воздействию собственного магнитного поля катушки L_1 на эту же катушку прибавляется воздействие на нее поля катушки L_2 и, наоборот, к воздействию собственного поля катушки L_2 прибавляется воздействие на нее поля катушки L_1. К явлению самоиндукции прибавляется еще явление взаимоиндукции между катушками L_1 и L_2. Так как поля катушек направлены одинаково, то взаимоиндукция создает тот же эффект (направленную в ту же сторону э. д. с.), что и самоиндукция, и благодаря взаимоиндукции как бы усиливается эффект самоиндукции в каждой из катушек. При таком взаимодействии индуктивности катушек L_1 и L_2 не просто складываются, а дают некоторое добавочное увеличение общей индуктивности всей цепи за счет явления взаимоиндукции.

Если мы включим катушки так (фиг. 48,*б*), чтобы токи в них были направлены в противоположные стороны, то и магнитные поля этих катушек будут направлены навстречу друг другу. Благодаря взаимоиндукции катушек эффект самоиндукции в них будет не усиливаться, а ослабляться, и общая индуктивность всей цепи будет меньше, чем в том случае, когда катушки не действуют друг на друга. Следовательно, при таком включении, когда поля катушек направлены навстречу, общая индуктивность всей цепи будет меньше, чем сумма индуктивностей отдельных катушек.

Итак, взаимодействие магнитных полей двух катушек самоиндукции, включенных последовательно (то же самое, конечно, будет происходить и при параллельном включении катушек, но на практике применяется, главным образом, последовательное включение), может изменять в ту или другую сторону — увеличивать или уменьшать — общую индуктивность всей цепи. Этим пользуются для того, чтобы построить вариометр — прибор, плавно (а не скачками, как в секционированной катушке или катушке с ползунком) изменяющий свою индуктивность. Схема устройства этого прибора приведена на фиг. 49. Прибор этот состоит из двух катушек (изображены в виде удлиненных прямоугольников), одна из которых неподвижна (указана сплошными линиями), а другая может вращаться внутри первой (указана пунктирными линиями). Обе эти катушки соединены последовательно. Каждая из катушек создает свое магнитное поле, причем это магнитное поле условно обозначено соответствующими стрел-

ками: сплошной стрелкой — поле неподвижной катушки, а пунктирной стрелкой — поле подвижной катушки (это обозначение условно, потому что в случае, когда по катушке проходит переменный ток, направление поля каждой из катушек за период дважды меняет направление). Эти два поля взаимодействуют так, что когда они направлены в одну сторону, их взаимодействие усиливает эффект самоиндукции, и наоборот, — когда они направлены навстречу, их взаимодействие ослабляет эффект самоиндукции. Следовательно, наибольшей индуктивностью вариометр будет обладать при по-



Фиг. 49.

ложении катушек, указанном на фиг. 49,*а*, в положении 49,*б* индуктивность вариометра будет уже меньше, в положении 49,*в* — еще меньше, а в положении 49,*г* — наименьшая; таким образом, при переходе от положения *а* к положению *г*, т. е. при вращении подвижной катушки, индуктивность вариометра плавно изменяется в широких пределах.

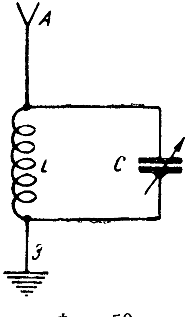
Возможность плавного изменения индуктивности, как мы уже указывали, имеет большое практическое значение в радиотехнике, и вариометры широко применяются на практике. Конечно, по своей конструкции вариометры могут существенно отличаться от только что описанного. Но принцип действия всех вариометров аналогичен описанному нами.

Познакомившись с методами изменения емкости и индуктивности, мы можем перейти к рассмотрению различных методов настройки приемников.

26. ПРИЕМНИК С ПЕРЕМЕННЫМ КОНДЕНСАТОРОМ

Как уже указывалось, переменный конденсатор и вариометр сами по себе не перекрывают всего диапазона радиовещательных волн от 200 до 2 000 *м*, и поэтому к ним приходится добавлять еще конденсаторы постоянной емкости или катушки самоиндукции, чтобы получить весь нужный диапазон волн.

Очень часто пользуются именно добавочными катушками самоиндукции, и мы на этом случае прежде всего остановимся. Мы рассмотрим такой приемный контур, в котором для настройки применяются переменный конденсатор и катушки самоиндукции. Схема такого приемного контура изображена на фиг. 50. На этом рисунке: *А* — антенна, *З* — заземление, *С* — переменный конденсатор (на то, что конденсатор переменный, указывает стрелка на нем), *L* — катушка самоиндукции. Настройка такого приемника будет зависеть от емкости конденсатора *С* и индуктивности катушки *L*. Так как катушка *L* имеет постоянную индуктивность, а конденсатор *С*—переменную емкость, то волна приемника определяется положением подвижных пластин конденсатора. Чем больше будет емкость конденсатора, тем длиннее волна, на которую настроен приемник. Положим, что при той катушке, которая включена в приемник, и при наименьшей емкости (начальном положении подвижных пластин конденсатора) волна приемника составляет 200 *м* и что при перестановке подвижных пластин конденсатора из положения наименьшей емкости в положение наибольшей емкости длина волны увеличивается в 2,5 раза. При увеличении емкости конденсатора волна постепенно возрастает, и при наибольшей емкости (конечное положение подвижных пластин конденсатора) мы получим настройку на волну в 500 *м*. Таким образом, с одной катушкой и переменным конденсатором нам удалось бы получить или «перекрыть» диапазон от 200 до 500 *м*. Чтобы получить диапазон несколько более длинных волн, подберем вместо той катушки, которая была включена в приемник, другую, с несколько большей индуктивностью, так чтобы при этой катушке и при наименьшей емкости конденсатора получилась волна в 400 *м*. Так как при полном изменении емкости конденсатора от наименьшей до наибольшей величины волна увеличивается, примерно в 2,5 раза, то при наибольшей емкости и второй катушке мы получим волну примерно в 1 000 *м*. Таким образом, пользуясь двумя катушками, мы можем перекрыть диапазон от 200 до 1 000 *м*. Но и этого недостаточно, если нужно получить диапазон от 200 до 2 000 *м*. Для этого придется воспользоваться третьей катушкой, имеющей еще большую индуктивность, чем вторая. Подберем эту



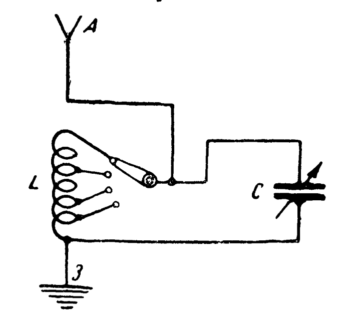
Фиг. 50.

третью катушку так, чтобы при наименьшей емкости волна приемника составляла около 800 *м*. Тогда при наибольшей емкости конденсатора приемник будет настроен на волну примерно в 2 000 *м*. Таким образом, при помощи трех различных катушек и одного переменного конденсатора перекрыт весь нужный диапазон от 200 до 2 000 *м*. Однако, не всегда дело обстоит так благополучно. Практически вследствие целого ряда причин, часть которых мы выясним в дальнейшем, при переходе от начального к конечному положению конденсатор дает изменение волны не в 2,5—3, а только в 1,5—2 раза; вследствие этого трех катушек оказывается недостаточно, чтобы перекрыть весь диапазон от 200 до 2 000 *м*, и приходится применять четыре катушки. Катушки эти подбираются, например, таким образом; первая катушка дает наименьшую волну (при наименьшей емкости конденсатора) в 180 *м* и наибольшую около 400 *м*, вторая—наименьшую в 300 *м* и наибольшую в 600 *м*, третья — наименьшую в 500 *м* и наибольшую около 1 100 *м* и, наконец, четвертая—наименьшую в 1 000 *м* и наибольшую в 2 000 *м*. Таким образом, четыре катушки самоиндукции дают возможность надежно перекрыть весь нужный диапазон волн

Читатель, вероятно, уже заметил, что и в первом и во втором случаях мы подбирали катушки определенным образом, именно так, чтобы наименьшая волна, которую можно получить с какой-либо катушкой, была меньше, чем та наибольшая, которую может дать предыдущая катушка, т е. чтобы диапазоны волн, даваемые отдельными катушками, «перекрывали» друг друга. Если бы мы этого не делали и выбирали бы катушки так, чтобы их диапазоны не перекрывали друг друга, а только сходились вплотную (например, первая катушка от 180 до 360 *м*, вторая от 360 до 720 *м* и т. д), то так как вследствие тех или иных причин эти диапазоны могут немного изменяться (например, первая катушка 180—350 *м*, вторая 370—720 *м* и т. д.), в диапазоне приемника получился бы «провал», и на волну в 360 *м* он не мог бы быть настроен. Чтобы избежать этих провалов в диапазоне, катушки всегда выбирают таким образом, чтобы диапазоны, даваемые отдельными катушками, достаточно перекрывали друг друга.

Так как в описанном случае для приема разных станций и получения всего диапазона волн приходится менять катушки, то приемники этого типа называются приемниками со сменными катушками. При настройке приемника на ту или

другую волну приходится раньше всего, в зависимости от длины этой волны, вставлять в приемник ту или другую катушку, а затем переменным конденсатором настраиваться на волну принимаемой станции. Такой способ теперь уже редко применяется для настройки приемников, так как сменные катушки в приемниках неудобны. Для каждого приемника требуется целый комплект катушек, и при переходе от одной станции к другой часто приходится менять катушки. Чтобы устранить эти недостатки, вместо сменных катушек в приемниках часто пользуются одной катушкой, но секционированной. Схема приемного контура с секционированной катушкой самоиндукции приведена на фиг. 51. От каждой секции катушки делается отвод, который позволяет при помощи ползунка включать в приемник не всю катушку, а только часть ее — одну или несколько секций. Число витков каждой секции подбирается так же, как и в случае сменных катушек. Одна первая секция соответствует первой сменной катушке, первая и вторая вместе соответствуют второй сменной катушке, первая, вторая и третья вместе соответствуют третьей сменной катушке и, наконец, вся катушка (все четыре секции вместе) соответствует четвертой сменной катушке. Таким образом можно получить весь нужный диапазон приемника и достаточное перекрытие между отдельными участками диапазона.



Фиг. 51.

Настройка при помощи секционированной катушки и переменного конденсатора широко применяется в современных фабричных и самодельных приемниках.

27. ДЛИННЫЕ И СРЕДНИЕ ВОЛНЫ

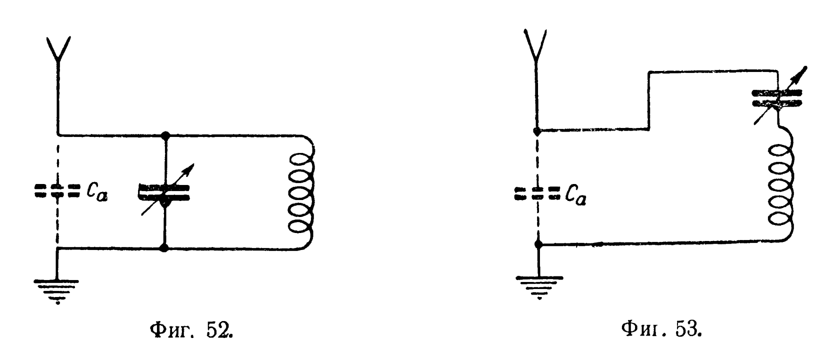
Те из наших читателей, которым приходилось рассматривать приемники с переменным конденсатором, вероятно, заметили на них кроме ручки для вращения пластин конденсатора и ручки для переключения секций катушки еще один переключатель с надписями «средние волны» и «длинные волны». Этот переключатель служит для изменения диапазона волн приемника. Из того рассуждения, которое мы при-

вели выше, вытекало, что для получения всего диапазона от 200 до 2 000 *м* достаточно иметь переменный конденсатор и катушку, разделенную на четыре секции. Однако, этого было бы достаточно, если бы к приемнику не была присоединена антенна. Но когда антенна присоединена к приемнику, то получить весь диапазон волн таким образом часто не удается и приходится пользоваться переключением на средние и длинные волны.

Дело в том, что антенна сама по себе обладает определенной емкостью. Вместе с землей она представляет собой конденсатор, правда, несколько необычной формы, в котором одной «обкладкой» являются провода антенны, а другой «обкладкой» служит земля. Емкость антенны будет тем больше, чем длиннее горизонтальная часть антенны и чем больше проводов составляет антенну. Для обычной любительской антенны средней высоты (12—15 *м*) при одном проводе (луче) можно считать, что емкость антенны будет составлять 5 *см* на каждый метр длины провода, считая и горизонтальную часть и снижение. Например, на антенну высотой 20 *м* и длиной 40 *м* идет 60 *м* провода. Считая по 5 *см* емкости на каждый метр длины провода, мы может считать, что емкость антенны будет составлять примерно 300 *см*. На нормальную любительскую антенну идет обычно от 40 до 60 *м* провода, и поэтому емкость любительской антенны обычно составляет 200—300 *см*.

Как же изменяет настройку приемного контура присоединенная к нему антенна? На фиг. 52 и 53 изображены два способа присоединения антенны и заземления к приемному контуру, причем собственная емкость антенны C_a изображена на этих фигурах пунктиром. В первом случае (фиг. 52) антенна присоединена к первой обкладке переменного конденсатора, а заземление — ко второй его обкладке, это значит, что емкость антенна — земля включена в колебательный контур параллельно переменному конденсатору. Следовательно, к имеющейся емкости переменного конденсатора все время прибавляется постоянная емкость антенны, которую изменить нельзя и которая составляет 250—300 *см*. Поэтому при таком включении антенны общая емкость приемного контура намного увеличивается. Увеличивается при этом и начальная и конечная емкость конденсатора, и общая емкость контура изменится при полном повороте конденсатора уже не в 8—9 раз, а всего в 3—4 раза. Кроме того, настроиться на короткие волны вообще не удастся, ибо как бы мы ни умень-

шали емкость переменного конденсатора, емкость антенны останется прежней и так как она значительна, приемник не удастся настроить на самые короткие волны диапазона. Если же емкость антенны включать в колебательный контур не параллельно, а последовательно с емкостью переменного конденсатора, т. е. так, как указано на фиг. 53, то общая емкость приемного контура всегда будет меньше, чем емкость переменного конденсатора. Поэтому, уменьшая емкость переменного конденсатора, мы сможем настроить приемник на самые короткие волны. Таким образом, для приема длинных



Фиг. 52.

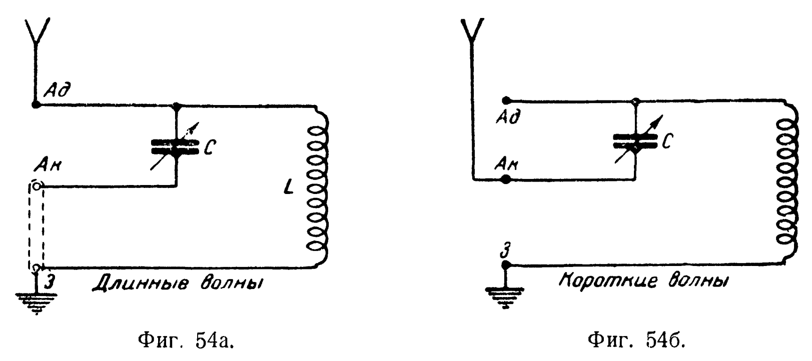
Фиг. 53.

волн антенну включают в приемный контур параллельно переменному конденсатору, а для приема более коротких волн антенну включают в приемный контур последовательно с конденсатором. Для этих переключений и служит переключатель на длинные и средние волны.

Устройство переключателей на средние и длинные волны бывает весьма разнообразно. Мы остановимся на двух наиболее распространенных схемах переключения на средние и длинные волны. Более простая из этих двух схем приведена на фиг. 54. В этой схеме приемник снабжен не двумя, а тремя клеммами для присоединения антенны и заземления Чтобы конденсатор был включен в контур параллельно емкости антенны (длинные волны), антенну присоединяют к клемме *Ад*, заземление — к клемме *З* (фиг. 54 а). Кроме того, клеммы *Ак* и *З* соединяют между собой накоротко (для этого обычно пользуются специальной металлической пластинкой). Для включения конденсатора в контур последовательно (средние волны) антенну присоединяют к клемме *Ак*, а заземление —

опять к клемме *З*. При этом пластинку, соединяющую клеммы *Ак* и *З*, нужно удалить (фиг. 54б).

Такой способ переключения на средние и длинные волны хотя и очень прост, но не очень удобен, так как при переходе от одной станции к другой приходится часто пересоединять антенну. От этого недостатка свободен второй способ переключения при помощи двойного переключателя *ПВ* (фиг. 55) с двумя ползунками и двумя контактами. Из этих контактов один присоединен к конденсатору, а другой к катушке самоиндукции. Ползунки связаны пластинкой из изолирую-



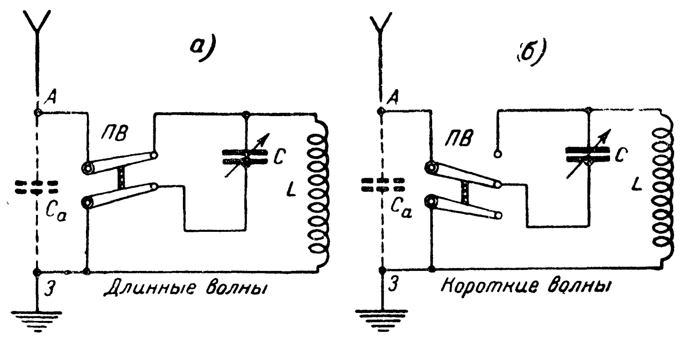
Фиг. 54а. Фиг. 54б.

щего материала, т. е. электрически не соединены друг с другом, но благодаря этой пластинке оба ползунка передвигаются по контактам вместе. Когда этот переключатель *ПВ* стоит в верхнем положении (фиг. 55,*а*), то конденсатор *С* и емкость антенны C_a включены в контур параллельно — получается схема длинных волн. Когда же переключатель *ПВ* переведен в нижнее положение (фиг. 55,*б*), то конденсатор *С* и емкость антенны C_a оказываются включенными в контур последовательно, и получается схема средних волн. Таким образом, все необходимые переключения делаются сразу одним поворотом переключателя, без всяких пересоединений. Все остальные способы переключения на средние и длинные волны являются видоизменением этих двух, и мы их описывать не будем.

Переключатель на средние и длинные волны, как мы уже говорили, дает возможность перекрыть весь нужный диапазон при присоединенной антенне. При этом обычно области средних и длинных волн очень сильно перекрывают друг друга, и поэтому станции, работающие на длинах волн от

400 до 700 *м*, можно слушать при обоих положениях переключателя волн.

Во всеволновых приемниках помимо переключения на средние и длинные волны есть еще одно положение переключателя — для приема коротких волн. Таким образом, в радиовещательных приемниках с диапазоном от 200 до 2 000 *м* переключатель волн имеет обычно два положения, во всеволновых приемниках — три положения.



Фиг. 55.

Заметим кстати, что в старых радиовещательных приемниках, не имевших коротковолнового диапазона, иногда у переключателя диапазонов ставилась надпись «короткие волны», а не «средние волны». Однако, эта надпись подразумевает не короткие волны в том смысле, как применяют сейчас этот термин, а коротковолновую часть радиовещательного диапазона, т. е. именно средние волны.

При всех рассуждениях мы говорили о «нормальной» любительской антенне. О том, что такое нормальная антенна и каковы ее размеры, мы уже говорили. Но что будет, если пользоваться антенной, размеры которой сильно отличаются от нормальной? Если антенна очень мала, то прием на нее будет хуже, чем на нормальную антенну: если же антенна чересчур велика, то она может нарушить плавность и непрерывность настройки приемника. Действительно, большая антенна будет обладать большой емкостью; если при этом емкость антенны включена в контур последовательно с переменным конденсатором (схема средних волн), то, как читатель уже знает, заметного изменения в настройку приемника она не внесет, но если большая емкость антенны включена в контур параллельно с переменным конденсатором, то она

может нарушить всю настройку. Ведь если параллельно включены две емкости, одна большая и другая малая, то вся общая емкость зависит, главным образом, от большой и почти не зависит от малой. Поэтому при параллельно присоединенной емкости большой антенны изменение емкости переменного конденсатора почти не изменяет настройки приемника. Например, если антенна имеет емкость 1 000 *см*, а конденсатор может изменять свою емкость от 50 до 750 *см*, то при наименьшей емкости переменного конденсатора общая емкость будет 1 050 *см*, а при наибольшей — 1 750 *см*. Таким образом, при полном повороте пластин переменного конденсатора емкость увеличится только на $^2/_3$ своей величины, а при нормальной антенне (емкость в 250 *см*) при тех же условиях емкость изменится от 300 до 1 000 *см*, т. е. больше чем втрое. Соответственно с этим при полном повороте конденсатора во втором случае будет происходить увеличение длины волны почти вдвое, а в первом случае всего лишь на 30%.

Таким образом, слишком большая антенна изменяет диапазон приемника и нарушает его настройку, в отношении же слышимости большая антенна никаких заметных улучшений по сравнению с нормальной не дает. Поэтому всегда нужно стремиться устанавливать нормальные антенны, т. е. такие, в которых на горизонтальную часть и снижение вместе уходит не более чем 40—60 *м* провода. Тогда всякий правильно рассчитанный приемник даст плавную и непрерывную настройку во всем радиовещательном диапазоне.

Мы говорили только о емкости, которой обладает антенна, и о том, какое влияние может оказать эта емкость на настройку приемного контура. Но кроме емкости всякий проводник обладает индуктивностью, следовательно, и антенна обладает некоторой собственной индуктивностью. Величина индуктивности нормальной любительской антенны составляет 50 000—100 000 *см*. Как же влияет эта индуктивность на настройку приемного контура? Чтобы упростить вопрос, мы предположим, что вся индуктивность, которой обладает антенна, сосредоточена в одном месте антенны (а не распределена вдоль всей антенны, как это имеет место в действительности). Мы будем, следовательно, считать, что сама антенна не обладает самоиндукцией, но что зато к нижнему концу антенны присоединена катушка самоиндукции, причем индуктивность этой катушки равна индуктивности самой антенны. Мы должны считать, что эта катушка самоиндукции

включена не между клеммами «антенна» и «земля» приемника, как мы считали включенной емкость антенны, а включена последовательно в провод антенны. Разница в «способе включения» собственных емкости и самоиндукции антенны обусловлена тем, что в первом случае играют роль взаимная емкость между антенной и землей, а во втором случае — самоиндукция самого провода антенны. Вследствие этого различия в «способах включения» емкость антенны мы можем включать в колебательный контур либо последовательно, либо параллельно с емкостью самого контура, собственная же самоиндукция антенны всегда оказывается включенной последовательно с самоиндукцией колебательного контура. Следовательно, самоиндукция антенны как в схеме средних волн, так и в схеме длинных волн оказывается включенной в контур последовательно с самоиндукцией контура, и общая индуктивность всего контура равна сумме обеих индуктивностей. Таким образом влияние собственной индуктивности антенны сводится к тому, что она все время прибавляется к индуктивности контура.

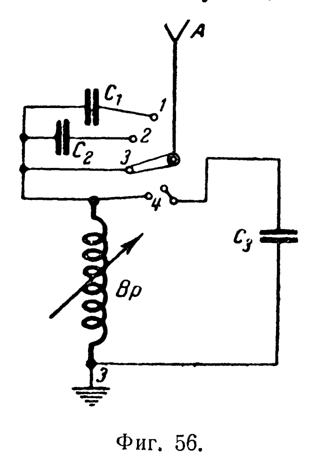
Это нужно будет учитывать при рассмотрении вопроса об изменениях настройки, которые может дать вариометр, так как постоянная индуктивность антенны суживает пределы, в которых происходит относительное изменение индуктивности приемного контура (так же как постоянная емкость, включенная параллельно с переменным конденсатором, суживает относительные пределы, в которых изменяется емкость всего контура). Поэтому, хотя в самом вариометре и можно получить изменения индуктивности в 10—12 раз, что соответствует изменениям длины волны в 3—3,5 раза, но в приемном контуре вариометр даст изменение волны обычно не более, чем в 2—2,5 раза.

28. ПРИЕМНИК С ВАРИОМЕТРОМ

Для получения плавной настройки приемника нужно, чтобы изменялась плавно или емкость, или индуктивность приемного контура. Мы описали выше приемники, в которых непрерывная настройка получается при помощи плавно изменяющейся емкости, т. е. при помощи переменного конденсатора. Рассмотрим теперь приемники, в которых непрерывная настройка получается при помощи плавно меняющейся самоиндукции, т. е. вариометра.

Как мы только что говорили, вариометр сам по себе может дать изменение длины волны приемного контура не бо-

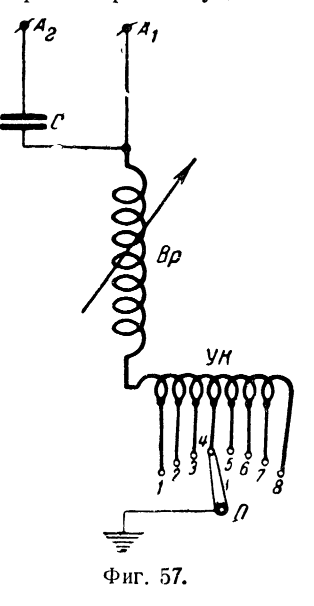
лее, чем в 2—2,5 раза. Так, например, если при наименьшей индуктивности (начальное положение) вариометр дает длину волны в 300 *м*, то при наибольшей индуктивности (конечное положение) он может дать волну в 600—750 *м*. Поэтому для получения всего радиовещательного диапазона волн — от 180 до 1 800 *м* — нужно, как и в случае переменного конденсатора, добавить к вариометру еще конденсаторы постоянной емкости или добавочную катушку самоиндукции. Схема, в которой использован первый из этих двух способов (добавочные постоянные конденсаторы), изображена на фиг. 56. Кроме вариометра *Вр* этот приемник снабжен для настройки тремя постоянными конденсаторами C_1, C_2 и C_3 и переключателем. При помощи этого переключателя можно получить четыре различных диапазона настройки. Когда переключатель стоит на контакте *1*, то контур приемника состоит из емкости антенны, конденсатора C_1 и вариометра *Вр*, включенных последовательно. Если переключатель переставить на контакт *2*, то в контур приемника входят: емкость антенны, конденсатор C_2 и вариометр *Вр*, включенные также последовательно. В положении *3* в контур приемника входят только емкость антенны и вариометр *Вр*. Наконец, в положении *4*, когда ползунок переключателя покрывает сразу оба стоящих рядом и несоединенных между собой контакта, в контур приемника входят: емкость антенны и конденсатор C_3, включенные уже не последовательно, а параллельно. При правильном подборе величин емкостей C_1, C_2 и C_3 приемник перекрывает весь нужный диапазон волн без провалов. Отдельные участки диапазона намного перекрывают друг друга. Большое перекрытие между отдельными участками диапазона, как и в приемнике с переменным конденсатором, необходимо на тот случай, если емкость антенны, к которой присоединен приемник, значительно отличается от нормальной. В таком случае не будь между отдельными участками диапазона достаточно большого перекрытия, в настройке приемника могли бы оказаться провалы, а при таком большом перекрытии этого



Фиг. 56.

не случится даже при больших отклонениях в размерах антенны по сравнению с нормальной.

Иногда встречаются приемники с вариометром и добавочной катушкой самоиндукции, которая называется «удлинительной» катушкой, потому что она служит для удлинения волн приемника. Схема приемника с вариометром и удлинительной катушкой приведена на фиг. 57. Она состоит из вариометра *Вр* и удлинительной катушки *Ук*, соединенных последовательно. Удлинительная катушка разделена на несколько секций (на фигуре этих секций восемь) и от конца каждой секции сделан отвод к одному из контактов переключателя *П*. При помощи переключателя можно включать в контур приемника любое число секций удлинительной катушки. Вариометр должен быть выбран таким образом, чтобы он вместе с антенной и первой секцией катушки (переключатель стоит на контакте *1*) давал самый короткий участок диапазона, т. е. волны примерно от 180 *м* при начальном положении вариометра (наименьшая индуктивность). Однако, при большой емкости антенны, когда размеры ее много больше нормальных, наименьшая волна, даваемая приемником, может оказаться больше 180 *м*. В этом случае антенну присоединяют не непосредственно к началу вариометра (зажим A_1), а через «укорачивающий» конденсатор *С* небольшой емкости 100—200 *см*, т. е. к зажиму A_2. При этом емкости антенны и конденсатора *С* оказываются включенными в приемный контур последовательно, и общая емкость будет меньше емкости *С*, т. е. примерно около 150 *см*, — не больше, чем емкость нормальной любительской антенны. Размер удлинительной катушки и число ее секций выбираются так, чтобы приемник давал весь диапазон волн (200—2 000 *м*) без провалов. Очевидно, что размер удлинительной катушки и число ее секций зависят от типа примененного вариометра. Чем больше изменение индуктивности, даваемое вариометром при



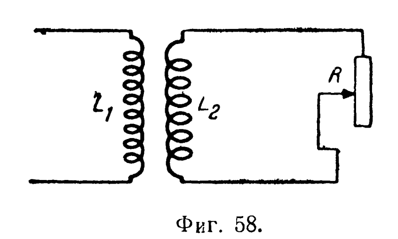
Фиг. 57.

переходе от начального к конечному положению, тем меньше должно быть число секций в катушке, а при уменьшении числа секций упрощаются и схема и настройка приемника. Поэтому следует применять вариометры с возможно более широкими пределами изменений индуктивности.

Рассмотренные приемники с переменными конденсаторами и вариометрами являются наиболее типичными из всех применяемых на практике. Поэтому мы не будем рассматривать некоторые другие, сравнительно редко применяемые схемы, которые к тому же являются лишь видоизменениями рассмотренных выше. Однако, следует рассмотреть еще некоторые методы плавного изменения индуктивности, которые теперь применяются для настройки приемников. Правда, эти методы по причинам, которые будут указаны ниже, мало пригодны для детекторных приемников, но в ламповых приемниках они применяются широко. Чтобы не возвращаться к вопросу о способах настройки, когда будет итти речь о ламповых приемниках, мы эти методы рассмотрим сейчас.

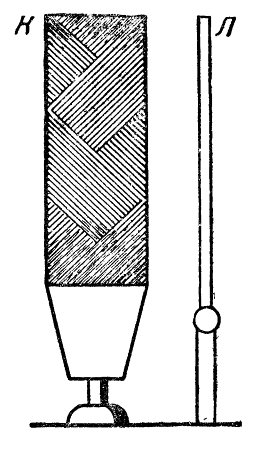
29. НАСТРОЙКА МЕТАЛЛОМ

Идея этого метода заключается в следующем. Если к какой-либо питаемой переменным током катушке самоиндукции L_1 мы приблизим другую катушку L_2, замкнутую на сопротивление R (фиг. 58), то вследствие явления индукции в катушке L_2 также возникает переменный ток. Амплитуда этого индуктированного тока зависит от соотношения между величиной индуктивности L_2 и сопротивления R. Если сопротивление велико, то амплитуда индуктированного тока будет мала. Если же сопротивление мало, то амплитуда индуктированного тока будет значительна, а направление его будет противоположно направлению индуктирующего тока, т. е. тока в катушке L_1. Но индуктированный ток будет создавать свое магнитное поле, которое (так же как и ток) будет направлено в сторону, противоположную магнитному полю катушки L_1. Поэтому магнитное поле катушки L_2 будет ослаблять магнитное поле катушки L_1 и тем в большей степени, чем сильнее индуктированный в катушке L_2



Фиг. 58.

ток. Таким образом, благодаря явлению взаимоиндукции, магнитное поле, создаваемое вокруг катушки L_1, при приближении катушки L_2 или при уменьшении сопротивления R будет уменьшаться Вместе с тем будет уменьшаться и индуктивность катушки L_1. Поэтому, плавно изменяя сопротивление R или расстояние между катушками, можно плавно изменять индуктивность катушки L_1. Вместо катушки L_2 можно взять листок металла с малым сопротивлением (медь, алюминий). В этом листке, так же как в катушке L_2, будет индуктироваться ток, магнитное поле которого противоположно току в катушке L_1, и вследствие этого при приближении металлического листка индуктивность катушки L_1 будет уменьшаться. Приближая и удаляя листок $Л$ от катушки (фиг. 59), мы можем плавно изменять индуктивность этой катушки в довольно широких пределах. Достоинство этого метода заключается в его простоте, основной же его недостаток состоит в том, что на создание тока в металле затрачивается некоторая доля энергии, и поэтому приближение листка увеличивает затухание колебаний в контуре (как бы повышает сопротивление контура), что, как мы увидим, весьма невыгодно отражается на качествах приемника.

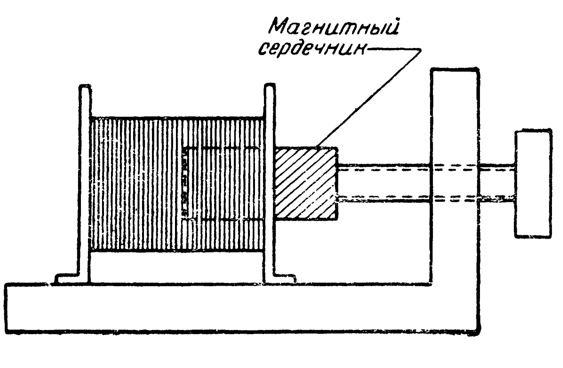


Фиг. 59.

30. НАСТРОЙКА МАГНИТНЫМ СЕРДЕЧНИКОМ

Как известно, магнитное поле, создаваемое катушкой самоиндукции, усиливается, если внутрь катушки ввести сердечник из ферромагнитного (т. е. сильно намагничивающегося) материала, например железа. Но если при данной силе тока в катушке магнитное поле ее стало сильнее, то значит увеличилась и ее индуктивность. Таким образом введение в катушку ферромагнитного сердечника увеличивает ее индуктивность и тем больше, чем глубже вводится сердечник. Этим и пользуются для плавного изменения индуктивности катушек. Катушка снабжается передвижным магнитным сердечником, который при помощи какого-либо приспособления (обычно винта, пропущенного сквозь отверстие с резьбой в

каркасе катушки) может больше или меньше вдвигаться в катушку (фиг. 60). Этот метод, идея которого известна уже давно, не применялся раньше по следующей причине. Обычные ферромагнитные материалы, например железо, вызывают большие потери энергии, если они внесены в магнитное поле высокой частоты. (Потери эти обусловлены тем, что часть энергии магнитного поля при быстром перемагничивании сердечника превращается в тепло). Поэтому железные сердечники нельзя применять в катушках, по которым проходят токи высокой частоты, и их применяют только в цепях низ-



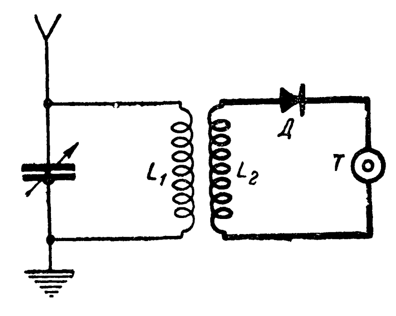
Фиг. 60.

кой частоты (например, в катушках телефона). Однако, за последние годы были созданы новые ферромагнитные материалы — магнетит, феррокарт и другие, которые не вызывают значительных потерь энергии в полях высокой частоты. Применение этих материалов позволило осуществить описанный выше принцип настройки передвижным сердечником, и сейчас он получил широкое распространение.

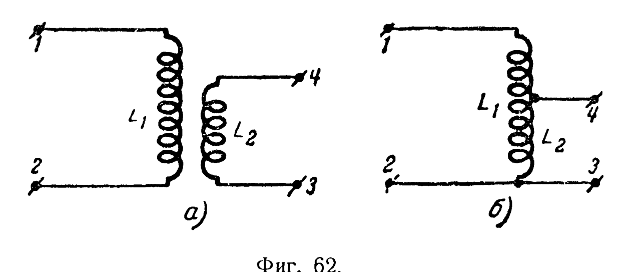
Все же даже и эти новые магнитные материалы вызывают некоторые потери энергии в полях высокой частоты. Поэтому применять их в детекторных приемниках, так же как описанную в предыдущем параграфе настройку металлом, нецелесообразно. В ламповых же приемниках, где потери энергии легко могут быть скомпенсированы за счет энергии, доставляемой электронной лампой, оба этих метода настройки металлом и магнитным сердечником получили широкое распространение.

31. ДЕТЕКТОРНАЯ ЦЕПЬ

Итак, мы знаем теперь, как «заполучить» в свой приемник приходящие от какой-либо передающей станции электрические колебания и как создать условия, при которых вынужденные колебания в приемнике были бы наиболее сильны. Для этого нужно одним из перечисленных выше способов настроить приемный контур в резонанс с приходящими колебаниями. Однако, этого еще мало, чтобы принять радиопередачу. Нужно из колебаний, которые созданы в приемном контуре приходящей волной, извлечь те звуки, которые во время передачи действуют на микрофон передающей станции. Для этого нужно продетектировать модулированные колебания, созданные в приемном контуре, и затем направить их в телефон, где они заставят колебаться мембрану телефона. Но прежде всего нужно их извлечь из приемного контура и направить в цепь детектора и телефона.



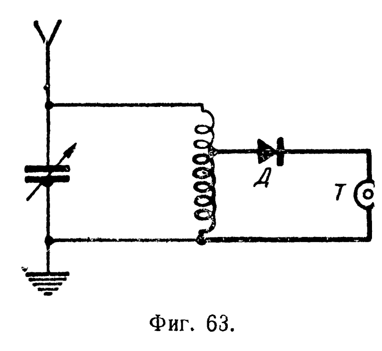
Фиг. 61.



Фиг. 62.

Как же можно направить колебания из приемного контура в цепь детектора? Возьмем для примера схему приемного контура с переменным конденсатором (фиг. 61). К катушке L_1 приемного контура мы приблизим другую катушку L_2 и получим трансформатор с двумя обмотками L_1 и L_2. Если в катушке L_1 проходит переменный ток, то благодаря явлению индукции на зажимах катушки L_2 также возникнут электродвижущая сила и ток той же частоты и того же характера, как и в

первичной катушке L_1. Катушка L_1 будет действовать на катушку L_2 индуктивно, и поэтому говорят, что между катушками L_1 и L_2 существует «индуктивная связь». Иногда также эту связь называют «трансформаторной», так как катушки L_1 и L_2 представляют собой в сущности две обмотки трансформатора. При помощи индуктивной связи можно извлечь колебания из приемного контура в цепь детектора и телефона, если к концам катушки L_2 присоединить детектор и телефон. Такой приемник называют приемником с индуктивной детекторной связью.

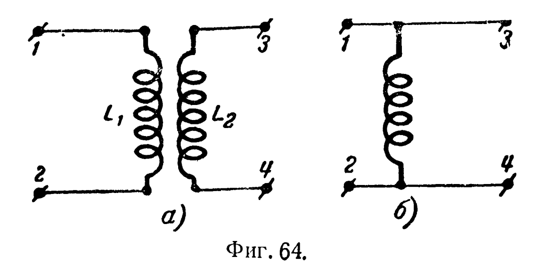


Фиг. 63.

Теперь представим себе, что в трансформаторе, состоящем из катушек L_1 и L_2 (фиг. 62,*а*), мы совместили катушку L_1 с частью катушки L_2 (фиг. 62,*б*). От того, что часть витков обеих обмоток трансформатора будет общая, картина не изменится. Мы попрежнему будем иметь трансформатор, и если через обмотку L_1, т. е. зажимы *1 — 2* (фиг. 62,*б*), будет проходить переменный ток, то на зажимах обмотки L_2, т. е. на зажимах *3 — 4*, возникнет переменная электродвижущая сила и в цепи, присоединенной к зажимам *3 — 4*, будет проходить переменный электрический ток. Такой трансформатор, в котором часть витков у обмоток общая, называется «автотрансформатором». Схема приемника с «автотрансформаторной связью» изображена на фиг. 63.

Можно трансформатор устроить таким образом, чтобы обе обмотки его L_1 и L_2 (фиг. 64,*а*) были совершенно одинаковы (имели бы одинаковое число витков). Точно так же и автотрансформатор может иметь в своих «двух» обмотках (хотя эти обмотки и слиты в одну) одинаковое число витков, тогда этот автотрансформатор будет иметь вид, изображенный на фиг. 64,*б*. В сущности — это одна катушка, к которой присоединены две цепи — цепь первичного тока, присоединенная к зажимам *1—2*, и цепь вторичного тока, присоединенная к зажимам *3—4*. Но эта катушка действует, как и всякий автотрансформатор (а следовательно, как и трансформатор вообще). Если через зажимы *1—2* пропустить переменный ток, то в цепи, присоединенной к зажимам *3—4*, также будет проходить переменный ток. В общем все будет

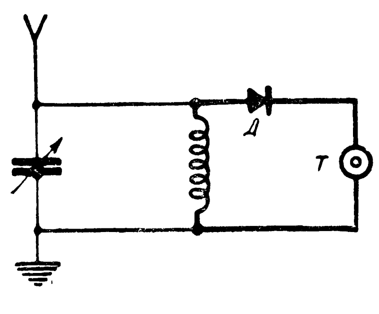
происходить так же, как и при трансформаторе, имеющем две одинаковые обмотки. Следовательно, таким автотрансформатором, состоящим из одной катушки, можно также воспользоваться для связи колебательного контура с детектор-



Фиг. 64.

ной цепью. Такая связь приемного контура с детекторным изображена на фиг. 65.

У читателя может возникнуть вопрос, зачем же в таком случае вообще нужна катушка самоиндукции в приемнике? Но эта катушка служит не только для связи с детекторной цепью, она вместе с тем входит в приемный контур и позволяет настроить этот контур на приходящие колебания. Если бы этой катушки не было, то в приемнике вообще не было бы колебательного контура, который мы могли бы настраивать на нужную станцию. Таким образом в схемах с автотрансформаторной связью одна и та же катушка служит катушкой самоиндукции приемного контура и катушкой связи с детекторной цепью.



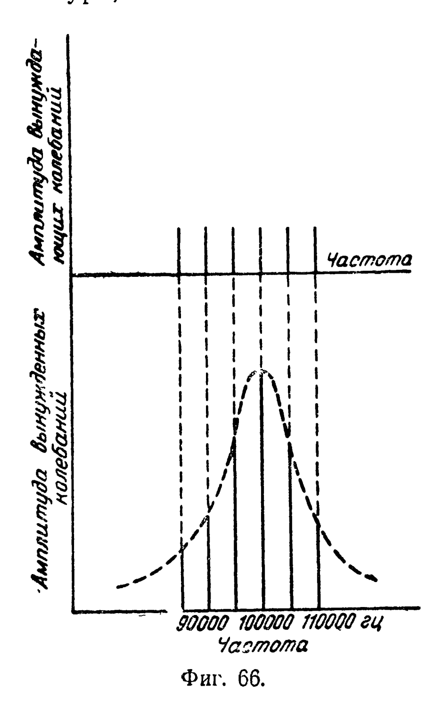
Фиг. 65.

К вопросу о связи между колебательным контуром и детекторной цепью мы еще вернемся, но лишь после того, как рассмотрим еще один вопрос, имеющий очень большое практическое значение, именно вопрос об остроте настройки приемного контура.

32. ОСТРОТА НАСТРОЙКИ

Если на колебательный контур действует сразу несколько колебаний разной частоты, то эти колебания будут вызывать

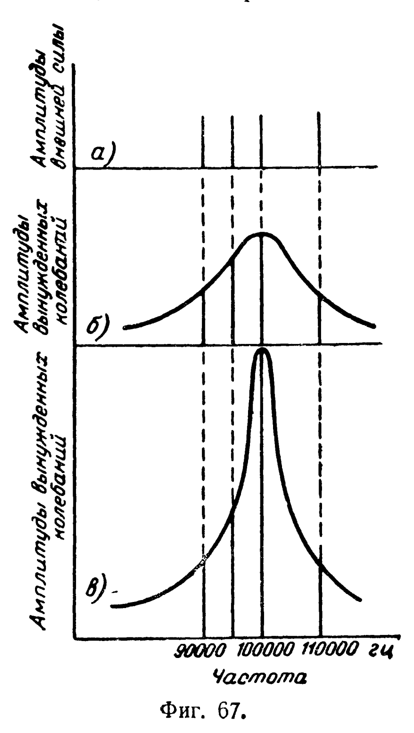
в контуре вынужденные колебания с частотами, равными частотам воздействующих на контур колебаний, но амплитуды этих колебаний будут различны. Как мы уже знаем, наибольшую амплитуду будут иметь те вынужденные колебания, частота которых совпадает с собственной частотой контура; и чем больше частота какого-либо из вынужденных колебаний будет отличаться от собственной частоты контура, тем меньше будет амплитуда этих вынужденных колебаний. Графически эту картину можно изобразить так, как это сделано на фиг. 66. Сверху на этой фигуре схематически изображено несколько (шесть) вынуждающих (внешних) колебаний различных частот, но одной и той же амплитуды, а внизу изображены шесть различных вынужденных колебаний соответствующих частот, которые этими внешними колебаниями созданы. Если, например, наш колебательный контур имеет собственную частоту в 100 000 *гц*, то вынужденные колебания именно этой частоты имеют наибольшую амплитуду. Колебания других частот имеют амплитуды тем меньше, чем больше их частоты отличаются от собственной частоты контура. Если мы обведем плавной кривой концы прямых, изображающих амплитуды различных колебаний (пунктирная кривая), то мы получим знакомую уже нам кривую резонанса. Эта кривая резонанса графически определяет зависимость между амплитудой и частотой вынужденных колебаний в каком-либо контуре.



Фиг. 66.

Итак, из всех внешних колебаний, действующих на какой-либо колебательный контур, этот контур сильнее всего отзывается на те колебания, частота которых совпадает с его собственной частотой, т. е он будет лучше всего принимать ту

станцию на которую он настроен Но от приемника требуется не только, чтобы он принимал нужную станцию, но также, чтобы он не принимал ненужных станций. Другими словами, мы должны требовать от приемника, чтобы он хорошо выделял колебания той частоты, на которую он настроен. Наконец, мы можем это требование сформулировать еще иначе. Если. на приемник действует ряд внешних э. д с., одинаковых по амплитуде, но разных по частоте, то амплитуды всех остальных, созданных этими внешними силами вынужденных колебаний должны быть гораздо меньше, чем амплитуда того вынужденного колебания, на которое настроен наш приемник. Легко убедиться в том, что это требование будет выполняться тем лучше, чем острее кривая резонанса нашего приемника. Чтобы убедиться в этом, мы разберем конкретный пример.



Фиг. 67.

Пусть принимаемая станция работает частотой в 100 000 *гц* и, кроме нее, поблизости работают еще три станции, частота колебаний которых будет соответственно 90 000, 95 000 и 110 000 *гц* (фиг. 67,*а*). Для выяснения роли остроты кривой резонанса на фиг. 67 приведена картина вынужденных колебаний в двух разных контурах с разными кривыми резонанса. Если вместо той кривой резонанса, которая изображена на фиг. 67,*б*, наш приемный контур будет обладать более острой кривой резонанса, то мы получим уже другие амплитуды вынужденных колебаний (фиг. 67,*в*). При этом возрастут и все амплитуды вынужденных колебаний, но возрастут они неодинаково. Особенно сильно возрастут амплитуды тех вынужденных колебаний, частота которых совпадает с собственной частотой контура, и в гораздо меньшей степени возрастут амплитуды тех колебаний, на которые

приемник не настроен (объяснение этому было дано в § 9).

Мы видим, таким образом, что способностью выделять из всех станций одну (ту, на которую настроен приемный контур) приемник обладает тем в большей степени, чем острее кривая резонанса приемника. Способность приемника выделять из всех станций ту, на которую он настроен, называется *остротой настройки* или *избирательностью приемника*. *Чем меньше потери энергии в приемном контуре, тем острее его кривая резонанса и тем больше избирательность этого контура.* Отсюда ясно, какое большое значение имеет уменьшение потерь энергии в приемном устройстве Однако, не все потери в приемнике следует стремиться устранять. Ведь есть потери полезные, например потери энергии в цепи телефона (энергия, которая нужна для работы телефона). Эта энергия отсасывается из колебательного контура в детекторный вследствие того, что детекторный контур связан с колебательным. Поэтому вопрос о связи между колебательным и детекторным контурами, вопрос о детекторной связи непосредственно связан с вопросом остроты настройки приемника.

33. ПЕРЕМЕННАЯ ДЕТЕКТОРНАЯ СВЯЗЬ

Все типы детекторной связи, которые мы описали выше, отличаются одной общей чертой связь между приемным контуром и детекторной цепью остается всегда одна и та же, и из энергии колебаний, происходящих в приемном контуре, в детекторную цепь всегда попадает определенная доля, соответствующая данной связи. При постоянной детекторной связи мы не можем по своему желанию изменять величину той доли энергии колебаний, которую потребляет детекторная цепь. Между тем очень важно иметь возможность изменять величину детекторной связи, и вот почему. При сильной детекторной связи детекторная цепь отнимает у приемного контура много энергии, т. е. вносит в него добавочные потери энергии и поэтому притупляет кривую резонанса приемника, вследствие чего уменьшается острота настройки приемного контура. Если мы хотим (в случае помехи со стороны других станций) увеличить остроту настройки приемника, то нужно иметь возможность ослабить детекторную связь. При этом хотя и уменьшится слышимость нужной станции, одна-

ко вследствие увеличения остроты настройки еще больше уменьшится слышимость мешающих станций, так как они при увеличении остроты настройки становятся слышны относительно (по сравнению с принимаемой) все слабее и слабее (ибо при уменьшении затухания амплитуды мешающих станций хотя и возрастают, но в гораздо меньшей степени, чем амплитуда той станции, на которую приемник настроен) Вот почему во многих детекторных приемниках детекторная связь делается переменной

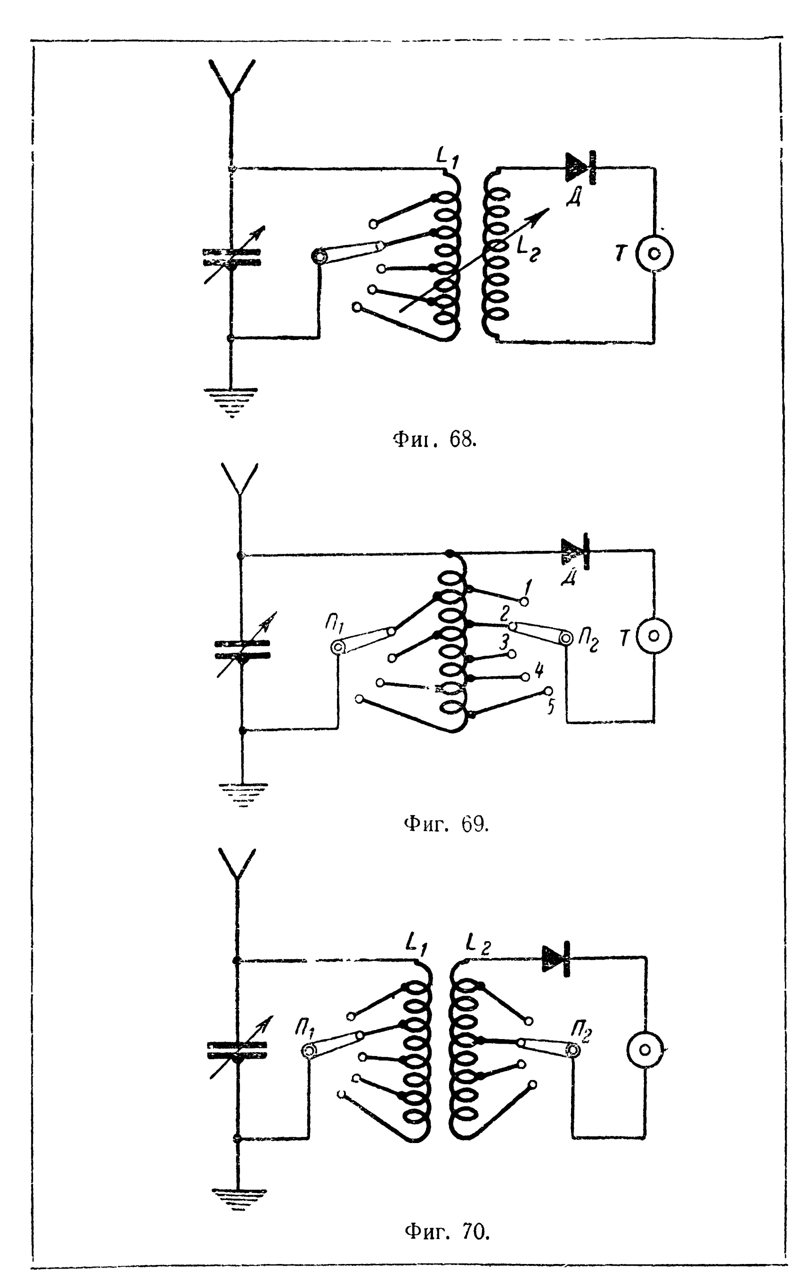
В приемниках с индуктивной (трансформаторной) связью катушки трансформатора L_1 и L_2 (фиг 68) устраивают таким образом, чтобы их можно было сдвигать и раздвигать (на чертежах это принято обозначать стрелкой) При сближении катушек детекторная связь увеличивается, а при удалении она уменьшается В приемниках с автотрансформаторной связью поступают иначе Детекторный контур присоединяют к приемному контуру не «наглухо», а при помощи ползунка $П_2$ (фиг 69), который позволяет включать в детекторную цепь большее или меньшее число витков катушки приемного контура и тем самым изменять связь между приемным и детекторным контуром В приемниках с индуктивной связью иногда бывает выгодно изменять не расстояние между катушками трансформатора, а число витков вторичной катушки Для этого катушку L_2 делают секционированной (фиг 70)

34. РАБОТА ТЕЛЕФОНА

Мы уже знаем, как устроен телефон Теперь нам нужно еще выяснить, от чего зависит качество работы телефона

Прежде всего (это понятно из того, что мы говорили об устройстве телефона) колебания мембраны телефона будут тем сильнее, чем сильнее электрические колебания в катушке электромагнита Следовательно, чтобы получить наиболее громкую работу, нужно поставить телефон в такие условия, при которых сила тока в его катушках получится наибольшая Для этого нужно наилучшим образом настроить приемный контур и установить детектор на «чувствительную точку» Когда то и другое сделано, телефон дает наибольшую слышимость, которую он может дать при приеме данной станции.

Громкость работы телефона зависит, однако, не только от настройки приемника и детектора, но и от устройства и качества самого телефона В частности, чем больше витков содержит обмотка катушек телефона, тем более сильное маг-



Фиг. 68.

Фиг. 69.

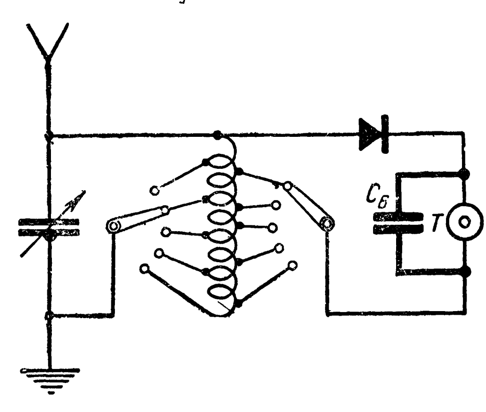
Фиг. 70.

нитное поле создает проходящий по этим катушкам ток и тем сильнее колеблется мембрана, т. е. тем громче звук. Но это, конечно, правильно только до тех пор, пока увеличение числа витков не связано с уменьшением силы тока, проходящего по обмоткам телефона. Между тем при увеличении числа витков в катушках сопротивление этих катушек возрастает, и вследствие этого сила тока в обмотках телефона падает. Действительно, детектор (или вообще какой-либо источник), питающий телефон токами низкой частоты, развивает вполне определенное напряжение, и чем больше сопротивление обмоток телефона, тем меньше сила проходящего по ним тока. Но пока сопротивление нагрузки (в нашем случае телефона) много меньше сопротивления источника (в нашем случае детектора), до тех пор сила тока мало зависит от сопротивления нагрузки (телефона), так как она ограничивается сопротивлением источника (детектора). Поэтому число витков в обмотках телефона выгодно делать возможно бо́льшим, но при этом сопротивление телефона не должно быть слишком велико, не должно заметно превосходить сопротивление детектора. Сопротивление кристаллического детектора бывает довольно велико; следовательно, и сопротивление телефона, который включается в детекторный приемник, может быть достаточно велико, т. е. телефон может быть «высокоомным» (на таких телефонах обычно есть пометка «1 000 *ом*» или больше). Высокоомность телефона показывает, что в нем катушка электромагнита намотана из очень большого числа витков. Обычно катушки «высокоомных» телефонов имеют несколько тысяч витков проволоки, а так как размеры катушки бывают невелики, то для того, чтобы на них уместилось несколько тысяч витков обмотки, приходится делать эту обмотку из очень тонкой проволоки. Поэтому они и оказываются высокоомными. Телефоны, которые применяются в проволочных телефонных аппаратах, рассчитаны на работу не от детектора, а от других приборов, обладающих небольшим сопротивлением. Поэтому телефоны для проволочных аппаратов делаются с небольшим сопротивлением, т. е. с небольшим числом витков в катушке телефона. Эти телефоны, так называемые «низкоомные», при употреблении в радиоприемниках дают худшие результаты, чем «высокоомные». Получить в таком телефоне более сильный ток невозможно, так как сила тока в цепи телефона ограничена большим внутренним сопротивлением детектора, а при той же силе тока они дают более слабый звук, так как

в низкоомном телефоне число витков в катушках гораздо меньше, чем в высокоомном. Этим и объясняется то, что низкоомные телефоны обладают меньшей чувствительностью, чем высокоомные.

35 БЛОКИРОВОЧНЫЙ КОНДЕНСАТОР

Мы проследили все те превращения, которые совершает звук попавший в микрофон передатчика, пока он, наконец, достигает телефона приемника и вновь превращается в звук. Но при этом мы не проследили до конца за тем, как завершают свой путь те колебания высокой частоты, при помощи которых происходит передача без проводов. Эти колебания высокой частоты должны подводиться к детектору, т. е. через обмотку телефона замыкаться на детектор. Чтобы детектор хорошо работал, нужно, чтобы напряжения, создаваемые на детекторе колебаниями высокой частоты, были возможно больше. Для этого нужно создать такой путь из колебательного контура к детектору, который представлял бы малое сопротивление токам высокой частоты. Однако, телефон, обладающий большой самоиндукцией, этому требованию не удовлетворяет. Чтобы удовлетворить этому требованию, параллельно телефону приключают «блокировочный» конденсатор $C_Б$ (фиг. 71), представляющий гораздо меньшее сопротивление для токов высокой частоты, чем телефон с большой самоиндукцией. Через этот конденсатор и проходят колебания высокой частоты, так как он представляет для них меньшее сопротивление, чем телефон. Наоборот, колебания низкой (звуковой) частоты идут в телефон, который представляет для них меньшее сопротивление, чем конденсатор небольшой емкости. Часто, однако, емкость между витками катушки телефона столь значительна, что она вполне заменяет блокировочный конденсатор. Поэто-



Фиг. 71.

му нередко вполне удовлетворительные результаты можно получить и без блокировочного конденсатора. Однако все же блокировочный конденсатор ставится во всех приемниках. В рассмотренных нами выше схемах приемников мы опускали блокировочный конденсатор только затем, чтобы не вводить в схему детали, назначение которой еще не было разъяснено. В практических же схемах детекторных приемников блокировочный конденсатор всегда присутствует.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ЭЛЕКТРОННАЯ ЛАМПА

36. НЕДОСТАТКИ ДЕТЕКТОРНОГО ПРИЕМА

Если бы недостатки детекторного приема сводились только к необходимости иногда потратить несколько минут на поиски хорошей точки на детекторе, то это было бы полбеды. С таким недостатком детекторного приема всякий любитель помирился бы и простил бы детектору этот его недостаток. Но детекторный прием обладает еще и другим более существенным недостатком. Этот недостаток — ограниченные возможности приема на детектор.

Разбирая свойства детектора, мы установили, что его задачей является выделение из приходящих модулированных колебаний колебаний низкой частоты, действующих на телефон. Внося необходимые искажения в модулированные колебания, детектор, конечно, не может увеличить энергию колебаний, так как он сам никакими запасами энергии не располагает. Больше того, так как детектор, как и всякий проводник, обладает некоторым сопротивлением, то неизбежно часть энергии приходящих колебаний затрачивается в самом детекторе. Таким образом, детектор является не источником энергии, а ее потребителем; но количество энергии, попадающей из передающей станции на приемную, бывает очень мало, и если принять во внимание, что часть этой энергии затрачивается в антенне и в колебательном контуре (которые также обладают некоторым собственным сопротивлением) и, кроме того, часть этой энергии потребляет детектор, то станет ясным, что в телефон попадает лишь небольшая доля той энергии, которая пришла в приемную антенну. Не лучше обстоит дело и с самим телефоном. Телефон, как мы знаем, это прибор, который превращает электрические колебания в ме-

ханические, т. е в звук, и, как всякий прибор, он также расходует некоторое количество энергии бесполезно. Часть энергии телефон «добросовестно» отдает в виде звуковых колебаний, но другая часть расходуется внутри его (в его омическом сопротивлении катушек, в виде потерь в железе сердечника и т. д) Этими обстоятельствами и ограничиваются возможности приема на детектор. Если передающая станция находится не слишком далеко и обладает достаточной мощностью, то станцию эту принять можно, если же в приемную антенну будет попадать количество энергии, недостаточное для работы телефона, то на самый лучший детекторный приемник нам не удастся услышать эту станцию. Ограниченные возможности детекторного приема сказываются и в невозможности осуществления громкоговорящего приема. Всякий громкоговоритель так же, как и телефон, представляет собой механизм, превращающий электрические колебания в колебания механические, т. е. в звук, и так же, как телефон, он не только не может создать энергии, но неизбежно часть подводимой электрической энергии расходует бесполезно. С другой стороны, для работы громкоговорителя, который должен создавать более громкие звуки, чем телефон, необходимо еще большее количество энергии, чем для работы телефона. Следовательно, для громкоговорящего приема на детектор необходимо, чтобы в приемную антенну попадало гораздо большее количество энергии, чем то, которое требуется для приема на телефон.

Итак, возможности детекторного приема ограничены с двух сторон. С одной стороны, на детекторный приемник нельзя услышать очень далеких станций, а с другой — на детектор нельзя получить громкоговорящего приема (за исключением, конечно, некоторых особенно благоприятных случаев). Ясно, что такие ограниченные возможности не могут удовлетворить радиолюбителя. Гораздо более широкие возможности открывает перед радиолюбителем электронная лампа.

Путь, по которому нужно итти для того, чтобы расширить возможности приема, в общих чертах должен быть таков. Нужно создать на месте — в приемнике — источник той энергии, которую можно было бы превратить затем в механические колебания, и если приемник будет располагать достаточным запасом этой энергии, то можно даже при малых количествах энергии, попавшей в антенну, получить прием не только на телефон, но и на громкоговоритель Приходящие

колебания в этом случае должны служить только для того, чтобы управлять энергией в приемнике, и если приемник является «послушным», то для управления им может оказаться достаточным очень малое количество энергии. Таким образом, имея «послушный» приемник с достаточным запасом собственной энергии, можно ограничиться ничтожными количествами энергии для управления этим приемником и получить громкоговорящий прием самых отдаленных станций. Эти возможности и дает ламповый приемник.

Для создания такого «механизма», который был бы «послушен» электрическим колебаниям, в ламповом приемнике использованы электроны. Электроны обладают всеми теми качествами, которые необходимы для этой цели. Прежде всего они «слушаются» электрических колебаний, так как их можно заставить двигаться в том или другом направлении и с той или другой скоростью под действием электрического поля. Вместе с тем электроны настолько подвижны, обладают столь малой инерцией, что они очень быстро могут изменять свои скорости. Поэтому они «послушны» самым быстрым электрическим колебаниям. «Механизмом» же, работающим при помощи электронов, является электронная лампа. Электроны, следуя за всеми изменениями электрического поля, будут двигаться в этом поле, но они не смогут сами создать энергии. Следовательно, в аппарате, который мы будем применять для радиоприема, необходимо иметь не только электронную лампу, но и источник энергии. Таким источником энергии может служить электрическая батарея или электрическая сеть. Они питают энергией электронную лампу, и задача лампы сводится только к тому, чтобы пользоваться этой энергией соответствующим образом. Приходящие же колебания служат для того, чтобы этой энергией управлять.

Все эти части вместе — контуры, в которых возникают колебания, лампы и источники питания—составляют ламповый приемник. С устройством приемного контура, способами его настройки и т. д. мы уже знакомы. Теперь нам предстоит познакомиться с электронной лампой и ее применением для различных целей в приемниках.

37. ИСПУСКАНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ НАКАЛЕННЫМИ ТЕЛАМИ

Каждый отдельный электрон обладает настолько малым зарядом, что он не в состоянии произвести вообще никаких

сколько-нибудь заметных действий. К электрону больше, чем к чему бы то ни было, относится пословица: «Один в поле не воин». Но если мы вместо одного электрона возьмем огромное количество их и заставим их всех действовать сообща, то мы получим достаточно сильный эффект, который может быть обнаружен и использован. Таким образом первое, что нужно сделать в электронной лампе, это — получить большое количество электронов, действующих совместно — создать «электронный поток».

Читатели, вероятно, знают, что всякое тело состоит из отдельных атомов и что всякий атом, в свою очередь, состоит из положительно заряженного ядра и отрицательных электронов. Притяжение ядра удерживает электроны в атоме, однако в некоторых случаях часть электронов атома бывает очень слабо связана с атомом и легко может его покидать. Такие слабо связанные с атомом электроны существуют, например, во всех металлах. Эти слабо связанные или «свободные» электроны могут перемещаться внутри металла. Способность металлов проводить электрический ток объясняется именно присутствием электронов, которые могут сравнительно легко перемещаться внутри металла. Однако, эти электроны, которые могут свободно двигаться внутри проводника, не могут выйти за пределы проводника. Этому препятствуют силы притяжения, действующие на электрон со стороны положительных зарядов атомов, находящихся на поверхности проводника. Эти атомы, находящиеся на поверхности проводника, создают нечто вроде барьера для электронов, двигающихся внутри проводника. Для того, чтобы вылететь за пределы проводника, электрон должен преодолеть действие притяжения атомов, находящихся на поверхности проводника, как бы «перескочить» через барьер, ими образованный. А для этого электрон должен совершить некоторую работу против этих сил притяжения, подобно тому, как мы совершаем работу против силы притяжения земли, когда поднимаем тяжелое тело. Работа, которую должен совершить электрон, вылетающий за пределы проводника, называется «работой вылета». Величина «работы вылета» для различных металлов различна. В зависимости от величины работы вылета всякий электрон, покидающий пределы проводника, должен совершить бо̀льшую или меньшую, но во всяком случае некоторую определенную работу. Очевидно, для того, чтобы совершить работу, электрон должен обладать достаточным запасом энергии.

Чем же определяется энергия, которой обладают «свободные» электроны в металле? «Свободные» электроны в металле принято сравнивать с газом, так как «электронный газ», содержащийся в металле, многими своими свойствами напоминает обычный газ. Сходство между обычным газом и «электронным газом» заключается в том, что частицы как первого (молекулы газа), так и второго (электроны) находятся в постоянном беспорядочном тепловом движении. Движение это происходит по всевозможным направлениям и с различными скоростями. Как и всякое движущееся тело, движущийся электрон (или молекула газа) обладает некоторым запасом кинетической энергии и, значит, может совершить некоторую работу. Работа, которую электрон может совершить, будет тем больше, чем больше его запас энергии, т. е. чем быстрее он движется.

Молекулы газа или электроны обладают, вообще говоря, различными скоростями, но средняя скорость этих частиц есть величина вполне определенная, зависящая от температуры газа. Таким образом, если газ обладает определенной температурой, то частицы его обладают хотя и различными скоростями, но большей частью лежащими близко к некоторой средней скорости. Подавляющее большинство частиц будет обладать скоростями, близкими к средней скорости, и только немногие из них будут иметь скорость, заметно отличающуюся от средней. При этом число частиц, обладающих отличной от средней скоростью, будет тем меньше, чем больше это различие в скоростях. Сама же средняя скорость частиц в газе будет тем больше, чем выше температура газа. То же самое мы можем сказать и об «электронном газе». Чем выше температура того проводника, в котором этот «газ» заключен, тем больше будут скорости «свободных» электронов внутри проводника. Пока скорость электрона такова, что он обладает меньшей энергией, чем та, которую нужно затратить, чтобы совершить «работу вылета», очевидно, он не сможет выйти за пределы проводника. Поэтому, если средняя скорость электронов много меньше той, которой должен обладать электрон, чтобы совершить работу вылета, то почти не будет электронов, которые смогли бы вырваться за пределы проводника. Если же средняя скорость электронов будет настолько велика, что достаточно большое число электронов будет обладать энергией большей, чем работа вылета, то они смогут вырваться за пределы проводника в окружающее пространство.

Таким образом, для того, чтобы электроны, находящиеся в металле, могли вылетать за пределы проводника, нужно, прежде всего, нагреть проводник настолько, чтобы скорости электронов были достаточно велики и значительная часть электронов обладала энергией, превышающей работу вылета. Поэтому накаленные тела испускают электроны Явление это носит название термоэлектронной эмиссии.

Кроме этого необходимо удалить газ, окружающий проводник, т. е. поместить накаленный проводник в вакуум, так как в противном случае газ будет препятствовать дальнейшему движению вылетевших электронов и вообще явления будут очень осложняться присутствием частиц газа.

Из сказанного выше ясно, что количество электронов, которые могут вырваться за пределы проводника, будет тем больше, чем выше температура проводника, так как при этом больше будет электронов, обладающих большими скоростями Таким образом, между температурой металла и количеством электронов, которые могут из этого металла вырваться наружу, существует вполне определенная зависимость. Для различных металлов эта зависимость будет различна, так как чем больше работа вылета, тем сильнее надо накалить металл, чтобы получить от него то же самое количество электронов. Однако, зависимость эта для различных металлов будет иметь одинаковый характер, именно, количество электронов, которые могут вырваться из проводника вначале, при низких температурах, очень мало, но, начиная с некоторой температуры, очень быстро растет при ее повышении. Для тугоплавких металлов, например вольфрама, заметное выделение электронов начинается только при температуре свыше 1 000° С; при температуре около 2 000° С количество электронов, выделяемых вольфрамом, уже очень велико. С одного квадратного миллиметра поверхности вольфрама при этой температуре может выделиться уже такое количество электронов в секунду, которое соответствует электрическому току силой в несколько миллиампер

38. НИТЬ НАКАЛА

Как уже было сказано, для работы электронной лампы необходимо получить достаточно большое количество электронов, которые могли бы выделиться из проводника в окружающее пространство, т. е. создать достаточную эмиссию. Теперь мы уже знаем, как можно это сделать Чтобы до-

стигнуть этой цели, нужно металлический проводник поместить в вакуум и накалить до высокой температуры, примерно до оранжевого или даже белого каления.

Таким проводником, который выделяет в окружающее пространство электроны, в простейшей электронной лампе служит *нить накала*[1]. Она представляет собой тонкую металлическую нить, помещенную внутри баллона, из которого выкачан воздух, и прикрепленную к двум ножкам, концы которых выведены наружу; накаливается нить электрическим током. Пропуская через нить накала достаточно сильный ток, мы можем довести ее до очень высокой температуры. Если мы хотим, чтобы нить накала давала достаточное количество электронов, то нужно довести ее до определенной температуры. Однако, для накала нити необходим достаточно сильный ток, и, следовательно, на это затрачивается довольно много энергии. Чем меньше будет ток, расходуемый на накал нити, тем экономичнее будет электронная лампа. Для того, чтобы уменьшить силу тока, необходимую для накала нити, не уменьшая вместе с тем количества электронов, которое нитью может быть выделено, стремятся уменьшить работу вылета электронов. Оказалось, например, что если к вольфрамовой нити прибавить некоторое очень небольшое количество металла тория и затем обработать эту нить так, чтобы на поверхности ее образовался тонкий слой тория, то такая *торированная* нить будет обладать нужным свойством. Благодаря присутствию тория на поверхности нити, работа вылета сильно уменьшается, и то же количество электронов может быть выделено нитью при гораздо более низкой температуре. Торированная нить выделяет с одного квадратного миллиметра поверхности при температуре в 1 000° С такое же примерно количество электронов, которое чистая вольфрамовая нить выделяет при температуре только свыше 2 000° С. Еще значительнее уменьшает работу вылета присутствие на поверхности нити окисей легких металлов (например, окиси бария). В таких *оксидированных* нитях то же количество электронов выделяется при еще более низкой температуре, чем в торированных нитях.

Нити, специально обработанные с целью уменьшения работы вылета и получения достаточной эмиссии при сравнительно низкой температуре, носят название *активиро-*

---

[1] В современных электронных лампах источником электронов часто служит не нить накала, а специальный электрод (см. ниже).

ванных нитей. Кроме покрытия слоем тория или окиси бария существуют и другие способы активирования нитей.

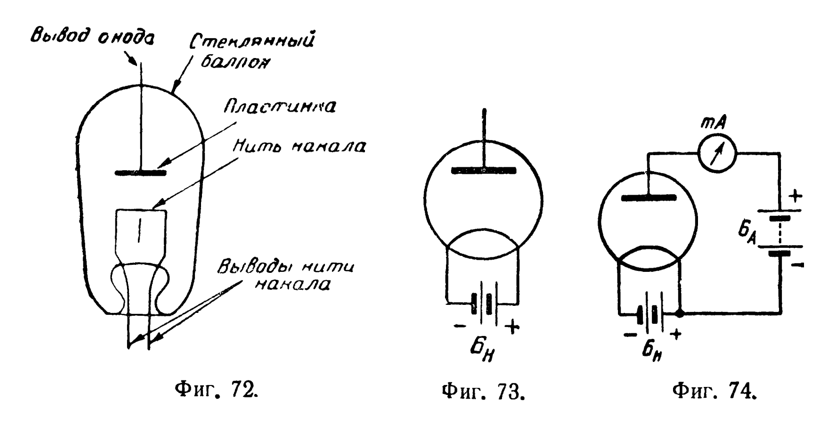
Таким образом, лампы с активированными нитями требуют для накала нити сравнительно малых токов (так как нить и при низкой температуре дает достаточную эмиссию) и поэтому являются экономичными лампами. Их называют часто «темными лампами», так как вследствие низкой температуры нити этих ламп при работе почти не светятся Экономичность «темных» ламп является огромным их преимуществом перед вольфрамовой («светлой») лампой. Но при работе с темными лампами необходимо иметь в виду следующее. Торий или окиси легких металлов, активирующие нить, прочно держатся на поверхности нити только в том случае, когда температура нити не слишком высока. Если нить перекалить, то примеси улетучиваются с ее поверхности и она теряет свою способность выделять достаточно большое число электронов при низкой температуре. Поэтому важнейшим условием нормальной работы «темных» ламп является нормальный их накал. При перекале этих ламп нити их дезактивируются и лампы перестают работать.

39. ДВУХЭЛЕКТРОДНАЯ ЛАМПА

Если вблизи нити поместить другой металлический электрод, например пластинку, и от этого электрода сделать наружу вывод, мы получим так называемую двухэлектродную лампу, или «диод», в которой одним электродом будет служить нить накала, а другим — пластинка. Такая двухэлектродная лампа в упрощенном виде изображена на фиг. 72. Но и это упрощенное изображение для радиосхем оказывается слишком сложным На схемах двухэлектродная лампа изображается так, как указано на фиг. 73.

Кроме батареи, включаемой между концами нити и служащей для накала нити (батарея $Б_н$ на фиг. 73), другая батарея (или вообще источник напряжения) может быть включена между нитью накала и пластинкой (батарея $Б_А$ на фиг. 74). Если батарея будет присоединена так, что положительный ее полюс будет соединен с пластиной, а отрицательный — с нитью, то внутри лампы между пластиной и нить возникнет электрическое поле, направленное от пластины к нити. Электроны, вылетающие из нити, будут попадать в это поле, и так как они представляют собой частицы отрицательного электричества, то они будут двигаться против поля, т е.

от нити к пластине Возникнет движение электронов от нити к пластине, т. е. электрический ток. Ток, создаваемый электронами, которые выделяет («эмиттирует») нить, называется **током эмиссии нити.** Так как направлением электрического тока принято считать направление движения положительных зарядов, то, очевидно, электрический **ток во внешней цепи,** соединяющей пластину с нитью, будет **направлен от нити к пластине.** Этот ток может быть обнаружен при помощи измерительного прибора *mA* (миллиамперметра), включенного в цепь так, как указано на фиг. 74.



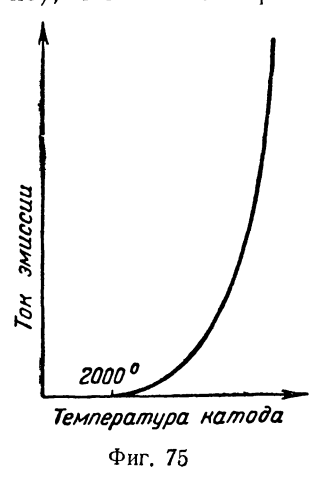
Фиг. 72. Фиг. 73. Фиг. 74.

Если бы мы включили батарею в обратном направлении, т. е. положительным полюсом к нити, а отрицательным — к пластине, то поле между нитью и пластиной внутри лампы было бы направлено от нити к пластине. Так как электроны должны двигаться против поля, то поле, создаваемое батареей, будет заставлять электроны, вылетевшие из нити, снова приближаться к ней и они не смогут попасть на пластину.

Следовательно, когда батарея включена положительным полюсом к нити и отрицательным к пластине, то тока в анодной цепи мы не обнаружим. Поэтому для того, чтобы лампа давала ток во внешней цепи, батарея $Б_А$ (и вообще всякий источник напряжения) должна быть включена положительным полюсом к пластине, а отрицательным к нити накала. Электрод, который находится под положительным напряжением, принято называть **анодом,** а находящийся под отрицательным напряжением — **катодом,** поэтому в электронной лампе пластину или электрод другой формы, вы-

полняющий ту же роль, обычно называют анодом, а нить накала — катодом. Батарея $Б_А$ носит название анодной батареи, а цепь, соединяющая пластину с нитью (на фиг. 74 эта цепь состоит из анодной батареи $Б_А$ и миллиамперметра *mA*), называется анодной цепью.

Если электрическое поле между нитью и анодом будет настолько сильно (напряжение анодной батареи столь велико), что все электроны, выделяемые нитью, будут захватываться этим полем и перелетать на анод, то сила тока, проходящего в анодной цепи, будет соответствовать тому количеству электронов, которое при данной температуре выделяет нить накала в секунду. А так как это количество электронов будет тем больше, чем выше температура нити, то, очевидно, сила тока будет возрастать с увеличением накала нити. Измеряя силу тока при большом анодном напряжении и при разных температурах нити, мы получим зависимость между температурой нити и величиной тока эмиссии. Зависимость эта имеет вид, изображенный на фиг. 75 Эта картина, как мы уже сказали, получится только в том случае, если поле между анодом и нитью достаточно сильное, т. е. напряжение анодной батареи достаточно велико. В этом случае величина анодного тока будет определяться всем током эмиссии, т. е. всем количеством электронов, выделяемых нитью.



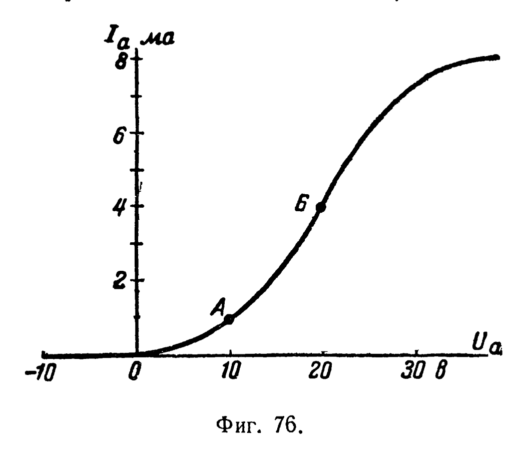
Фиг. 75

Рассмотрим теперь, чем будет определяться сила анодного тока в том случае, если анодное напряжение сравнительно мало. В этом случае не все электроны, выделяемые нитью, будут захватываться полем анода. Часть электронов, захваченная полем анода, будет переноситься на анод, другая же часть электронов будет оставаться вблизи нити Эти электроны, остающиеся вокруг нити, создают вокруг нее «электронное облако»—так называемый **пространственный заряд**. Электроны внутри электронного облака не неподвижны. Часть из них под действием электрического поля переносится на анод, но на их место из нити выделяются новые электроны. Электронное облако вокруг нити

будет находиться таким образом в состоянии «подвижного равновесия». Если накал нити очень слаб, так что она выделяет очень небольшое число электронов, которые все целиком могут быть захвачены полем анода (даже если оно слабое), то очевидно, что электронного облака вокруг нити не будет, так как все выделяемые ею электроны будут тотчас же улетать к аноду. Если мы будем увеличивать накал нити, не увеличивая анодного напряжения, то число электронов, выделяемых нитью, будет увеличиваться, а число электронов, улетающих на анод, останется примерно прежним. Вследствие этого величина пространственного заряда будет увеличиваться. Однако, это увеличение пространственного заряда не будет продолжаться беспредельно, так как электроны пространственного заряда будут отталкивать новые электроны, вылетающие из нити, т. е. будут препятствовать их дальнейшему выделению из нити. Как мы уже знаем, энергия электронов, вылетающих из нити, будет тем больше, чем больше температура нити, значит, чем сильнее мы накалим нить, тем большее число электронов преодолеет противодействие пространственного заряда и вылетит наружу. Поэтому величина пространственного заряда при данном анодном напряжении будет тем больше, чем выше накал нити.

Рассмотрим более детально, как изменяется сила анодного тока при увеличении анодного напряжения После всего сказанного выше легко установить характер этих изменений. Очевидно, что пока напряжение на аноде отсутствует, электроны, вылетающие из нити, не будут притягиваться к аноду и останутся вокруг нити в виде пространственного заряда. Когда пространственный заряд станет достаточно велик, то его противодействие прекратит дальнейшее выделение электронов. Таким образом, при отсутствии анодного напряжения вокруг нити будет существовать неизменный пространственный заряд Правда, некоторые электроны, обладающие особенно большими скоростями, смогут вылететь из нити, «прорваться» через пространственный заряд и достигнуть анода. Однако, число очень быстрых электронов будет очень мало, и поэтому анодный ток в отсутствии анодного напряжения будет очень мал Если мы включим и начнем постепенно увеличивать анодное напряжение, то часть электронов пространственного заряда будет захватываться этим напряжением и переноситься на анод — в анодной цепи лампы появится ток. Анодный ток будет тем сильнее, чем выше анодное напряжение, так как тем больше электронов будет захватываться

электрическим полем, существующим между нитью и анодом. Однако, анодный ток не будет расти беспредельно при увеличении анодного напряжения. В тот момент, когда анодное напряжение достигнет такой величины, что все электроны, вылетающие из нити, будут захватываться электрическим полем анода, дальнейшее возрастание анодного тока прекратится. Как бы мы ни увеличивали дальше анодное напряжение, все электроны, выделяемые нитью, уже захвачены полем анода и дальнейшего увеличения силы тока произойти не может.

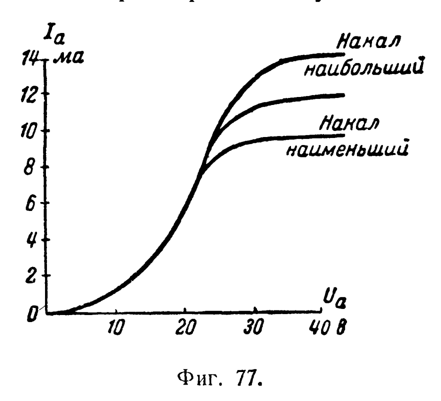


Фиг. 76.

Такое явление называется насыщением, и наибольший ток, который может дать лампа в случае, когда все электроны, выделяемые нитью, переносятся на анод, называется током насыщения.

Все то, что мы сказали относительно зависимости между анодным напряжением и силой анодного тока в двухэлектродной лампе, очень удобно изобразить графически с помощью характеристики, подобной тем, которыми мы пользовались при рассмотрении работы детектора. С этой целью на горизонтальной оси (оси абсцисс) откладывают анодное напряжение U_a в определенном масштабе (фиг. 76). На вертикальной оси (оси ординат) откладывают силу анодного тока I_a также в определенном масштабе. На этот график наносятся точки, соответствующие определенному анодному напряжению и анодному току. Например, если при напряжении в 10 *в* анодный ток составляет 1 *ма*, то это изобразится точкой *А*. Если мы увеличим анодное напряжение до 20 *в*, и при этом получим анодный ток в 4 *ма*, этому будет соот-

ветствовать точка *Б*. Произведя достаточное число измерений силы тока при различных анодных напряжениях, мы получим ряд точек и. соединив их плавной кривой, получим характеристику анодного тока. Так как при анодном напряжении, равном нулю, анодный ток также равен нулю, то, очевидно, характеристика двухэлектродной лампы всегда будет начинаться в точке пересечения осей (в начале координат). При увеличении анодного напряжения анодный ток также будет возрастать и характеристика будет подниматься кверху. В тот момент, когда анодный ток достигнет величины тока насыщения, дальнейшее увеличение анодного тока прекратится и характеристика пойдет дальше горизонтально (фиг. 76).



Фиг. 77.

Величина тока насыщения, как мы уже выяснили, зависит от накала нити. Поэтому чем сильнее накал нити, тем выше поднимается характеристика лампы. Изменяя ток накала и снимая при этом характеристики двухэлектродной лампы, мы получим картину, изображенную на фиг. 77. Вначале все характеристики будут итти вместе, но характеристика, соответствующая меньшему накалу, загнется и пойдет горизонтально при меньшем анодном токе, а соответствующая большему накалу — при большем анодном токе. Чем выше будет накал лампы, тем выше будет расположен изгиб характеристики, соответствующий току насыщения. В случае, изображенном на фиг. 77, наименьшему накалу соответствует ток насыщения около 9 *ма*, а наибольшему накалу — около 14 *ма*.

Характеристика лампы определяет свойства лампы и сразу позволяет судить о том, для чего эта лампа может быть применена. Отличительной чертой характеристики двухэлектродной лампы является ее непрямолинейность и несимметричность относительно оси ординат, т. е. характеристика несимметрична относительно подводимых напряжений. А мы уже знаем, что проводник, обладающий несимметричной характеристикой, может служить детектором. Поэтому двух-

электродная лампа может быть применена для детектирования модулированных колебаний высокой частоты (радиосигналов). Однако, как видно из характеристики, для того, чтобы получить достаточно сильные анодные токи, нужно подвести к аноду лампы сравнительно высокие напряжения. Это значит, что двухэлектродная лампа является малочувствительным детектором. Поэтому, хотя двухэлектродную лампу можно использовать в качестве детектора, но на практике она для этой цели применяется только в ламповых приемниках после предварительного усиления принимаемых сигналов.

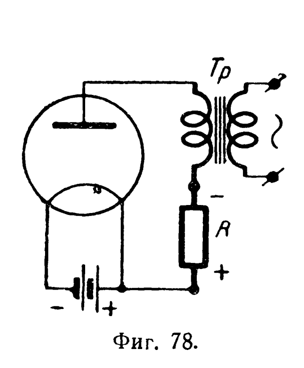
40. КЕНОТРОННЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

Как мы установили, анодный ток появляется в цепи двухэлектродной лампы (диода) только в том случае, когда к аноду лампы приложено положительное напряжение. Если к аноду будет приложено отрицательное напряжение, тока в цепи лампы не будет. Это свойство двухэлектродной лампы — ее односторонняя проводимость — используется для выпрямления переменных токов. Если включить между нитью и анодом источник переменного напряжения, например питаемый обычным переменным током трансформатор *Тр* (фиг. 78), то ток в цепи будет проходить только во время тех полупериодов переменного тока, когда на анод лампы подается положительное напряжение. В нагрузке *R* будет проходить ток только в течение одного из двух полупериодов, но все время в одном и том же направлении. Электроны внутри лампы будут двигаться от нити к аноду и, следовательно, они же во внешней цепи будут двигаться от анода к нити. Так как направление электрического тока считается обратным направлению движения электронов, то, следовательно, во внешней цепи ток будет проходить от нити к аноду. Поэтому двухэлектродную лампу, включенную в цепь переменного тока, по отношению к нагрузке *R* можно рассматривать как источник постоянного по направлению, но меняющегося по величине тока, причем нить лампы служит положительным полюсом этого источника. Графически эту картину можно изобразить так, как это сделано на фиг. 79. Верхняя кривая на этой фигуре изображает подводимые переменные напряжения, а нижняя кривая — ток в цепи. Таким образом, в цепи лампы мы получаем отдельные толчки (пульсации) тока, направленные всегда в одну и ту же сторону. Такой ток, постоянный по направлению, но переменный

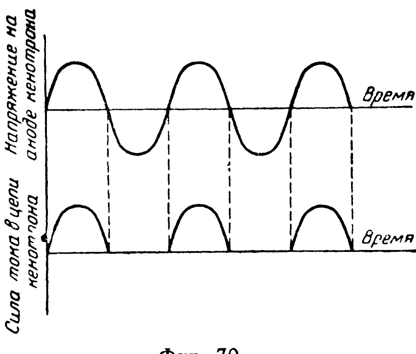
по величине, называется *пульсирующим током*. Следовательно, *выпрямитель превращает переменный ток в пульсирующий*.

Выпрямление переменного тока с помощью двухэлектродной лампы нашло широкое применение в технике. Для этой цели применяются специальные лампы, так называемые *кенотроны*. Наиболее распространенные схемы кенотронных выпрямителей мы вкратце рассмотрим.

Легко сообразить, каким недостатком обладает та простейшая схема выпрямителя, которую мы только что рас-



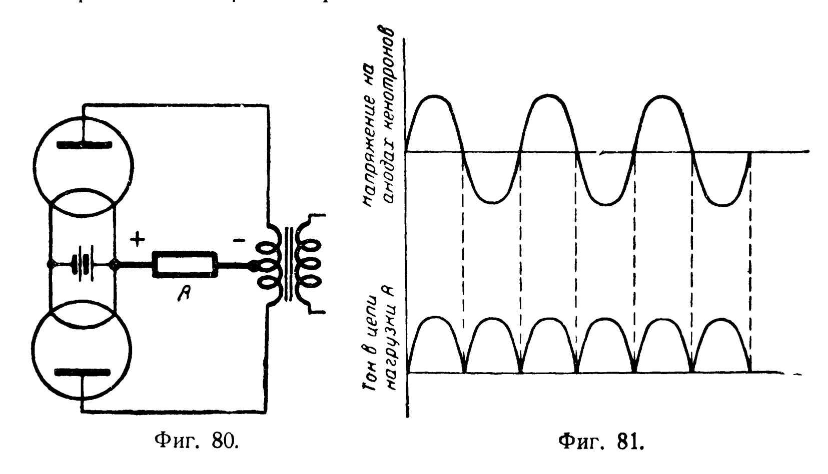
Фиг. 78.



Фиг. 79.

смотрели. Во время тех полупериодов, когда на анод кенотрона попадает отрицательное напряжение, схема вовсе не работает, так как в цепи анода ток не проходит. Мы используем только один полупериод переменного тока, а второй его полупериод остается неиспользованным. С этим обстоятельством связан основной недостаток такого однополупериодного выпрямления, который сказывается на сглаживании выпрямленного тока, т. е. при превращении его из пульсирующего в постоянный (о чем будет итти речь ниже). Устранить этот недостаток можно, применяя более сложную схему с двумя кенотронами (фиг. 80). В этой схеме кенотроны включены таким образом, что напряжения, подаваемые на аноды кенотронов, имеют противоположные знаки, т. е. когда к аноду первого кенотрона подведено положительное напряжение, анод второго кенотрона находится под отрицательным напряжением, и наоборот. Благодаря такому способу включения в течение одного из полупериодов работает один кенотрон, а в течение второго полупериода — второй. Мы полу-

чаем так называемую схему двухполупериодного выпрямления. Легко сообразить, какой вид будет иметь в этом случае график выпрямленного тока. Оба полупериода переменного напряжения будут давать во внешней нагрузке R ток, идущий в одном и том же направлении от нити кенотрона к средней точке трансформатора, и в цепи нагрузки R будет проходить пульсирующий ток, вид которого изображен на кривой фиг. 81.



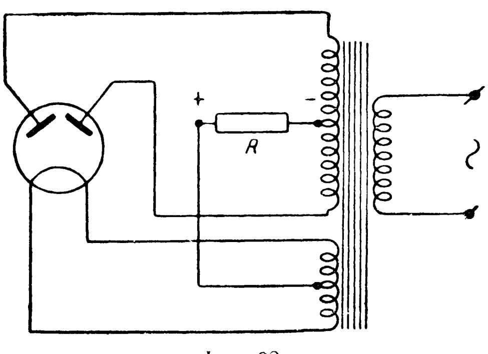
Фиг. 80. Фиг. 81.

Вместо двух кенотронов для осуществления схемы двухполупериодного выпрямления часто применяют один кенотрон, снабженный двумя анодами. В этом случае мы получим схему, изображенную на фиг. 82, принципиально ничем не отличающуюся от схемы фиг. 80.

Для накала нитей кенотрона нет необходимости в специальной батарее накала, которая изображена на фиг. 78 и 80. Можно для накала нитей пользоваться переменным током, понизив его напряжение при помощи специального понижающего трансформатора или понижающей обмотки на трансформаторе, питающем аноды кенотронов. Этот последний способ питания накала кенотронов применен в схеме, изображенной на фиг. 82. На практике пользуются только этим методом питания накала кенотронов, как наиболее простым и экономичным.

Преимущество схемы двухполупериодного выпрямления по сравнению со схемой однополупериодного заключается в следующем. Для питания электронных ламп усилителя необхо-

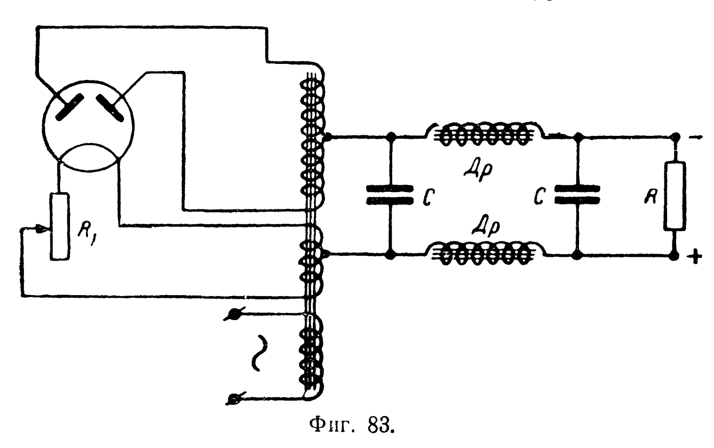
димо постоянное напряжение определенной величины. Между тем кенотрон дает пульсирующий ток, т. е. ток постоянный по направлению, но непостоянный по величине. Такой пульсирующий ток можно рассматривать как результат сложения двух токов, одного постоянного и по направлению и по величине и другого переменного. Ясно, что для того, чтобы воспользоваться кенотроном, как источником питания анодов ламп, необходимо отделить эти два тока друг от друга, т. е прекратить доступ переменному току (переменной слагаю-



Фиг. 82.

щей пульсирующего тока) к анодам ламп Для этой цели служат специальные сглаживающие фильтры, состоящие из больших самоиндукций с железными сердечниками, так называемых дросселей, представляющих большое сопротивление переменному току, и конденсаторов большей емкости, представляющих для него малое сопротивление. Включаются эти дроссели *Др* и конденсатор *С* так, как указано на фиг. 83, т. е. конденсаторы параллельно нагрузке, а дроссели последовательно с ней. Дроссели не пропускают переменной составляющей анодного тока и она замыкается через конденсаторы. Поэтому через нагрузку *R* (цепи анодов ламп усилителя) проходит только постоянная составляющая выпрямленного тока. Таким образом, эти фильтры сглаживают пульсации выпрямленного тока, причем сглаживание это будет различным при различной форме пульсирующего тока. В случае двухполупериодного выпрямления с теми же фильтрами можно достигнуть гораздо более совершенного сглаживания, чем в случае однополупериодного В этом и заключается одно из важнейших преимуществ схемы двухполупериодного выпрямления.

Напряжение, которое можно получить на зажимах кенотронного выпрямителя, зависит от двух причин: во-первых, от напряжения, подводимого к анодам кенотрона, и, во-вторых, от его внутреннего сопротивления. Как и во всяком источнике тока, внутри кенотрона происходит падение напряжения. И так как внутреннее сопротивление кенотрона сравнительно велико, то падение напряжения внутри его может быть весьма значительно. Оно будет тем больше, чем больше внутреннее сопротивление кенотрона и чем больше сила тока, отдаваемого им, т. е. чем больше нагрузка. Таким об-



Фиг. 83.

разом для получения требуемого напряжения выпрямленного тока нужно, во-первых, подобрать определенное переменное напряжение, подводимое к кенотрону. Это напряжение выбирают, применяя трансформатор с тем или другим коэффициентом трансформации. После того как переменное напряжение, подводимое к кенотрону, установлено, регулировать изменение напряжения, даваемого кенотроном при данной нагрузке, можно, изменяя его внутреннее сопротивление, что осуществляется изменением накала нити кенотрона. Чем больше накал нити кенотрона, тем меньше его внутреннее сопротивление и падение напряжения внутри его и, следовательно, тем больше напряжение, даваемое кенотроном во внешнюю цепь. Для регулировки накала нити кенотрона, а следовательно, и даваемого им выпрямленного напряжения служит реостат R_1 в цепи накала кенотрона (фиг. 83).

То обстоятельство, что кенотрон обладает большим внутренним сопротивлением, необходимо иметь в виду при включении его на ту или другую нагрузку и, в частности, при измерении с помощью вольтметра напряжения, даваемого кенотроном. Так как вольтметр представляет собой определенную нагрузку, то включение его вызывает падение напряжения внутри кенотрона. Поэтому для измерения напряжения, даваемого выпрямителем, нужно пользоваться чувствительными вольтметрами, потребляющими малый ток. Малочувствительные вольтметры, потребляющие большой ток, для измерения напряжения, даваемого выпрямителем, непригодны. Большое внутреннее сопротивление кенотрона приводит к тому, что напряжение, даваемое кенотронным выпрямителем, существенно зависит от нагрузки. Если при данной нагрузке выпрямитель дает какое-то определенное напряжение, то при увеличении нагрузки его напряжение будет уменьшаться и, наоборот, при уменьшении нагрузки будет увеличиваться. Это обстоятельство необходимо иметь в виду во всех тех случаях, когда желательно определенным образом выбрать напряжение, даваемое кенотронным выпрямителем. Это же обстоятельство имеет и другое важное практическое значение. Из сказанного только что следует, что наибольшее напряжение кенотронный выпрямитель дает без нагрузки, т. е. когда приемник не присоединен или его лампы не накалены. При этом напряжение, даваемое выпрямителем, может быть много больше того нормального напряжения, на которое рассчитаны выпрямитель и фильтр, и в связи с чем возникает опасность пробоя конденсаторов фильтра. Поэтому выпрямитель никогда не следует включать без нагрузки. При пуске в ход приемника следует раньше включить накал лампы приемника, а потом—накал кенотрона выпрямителя, а при выключении сначала выключать накал кенотрона.

Большое внутреннее сопротивление кенотрона обуславливает не только сильную зависимость даваемого усилителем напряжения от нагрузки (что само по себе является недостатком), но и низкий к. п. д. выпрямителя. Поэтому в выпрямителях (особенно повышенной мощности) часто применяют специальный тип выпрямительной лампы, так называемый газотрон, обладающий малым внутренним сопротивлением. Газотрон представляет собой диод не пустотный, как обычный кенотрон, а содержащий небольшое количество газа или ртутных паров. Роль газа состоит в уменьшении внутреннего сопротивления лампы. Под ударами вылетающих из

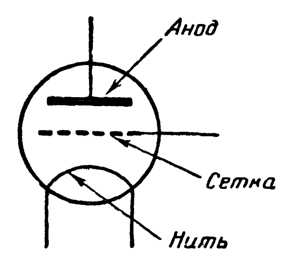
катода электронов молекулы газа ионизируются, т. е. превращаются в положительно заряженные ионы. Положительный заряд этих ионов компенсирует отрицательный пространственный заряд электронов, образующихся вокруг катода. Тем самым устраняется отталкивающее действие пространственного заряда на вылетающие из катода электроны и увеличивается число электронов, захватываемых полем анода и улетающих на анод. В результате те же самые анодные токи в газотроне получаются при значительно меньших напряжениях на аноде, чем в обычном пустотном кенотроне. А это и значит, что внутреннее сопротивление газотрона много меньше, чем пустотного кенотрона. Принцип действия и схемы выпрямителей на газотронах не отличаются существенно от схем кенотронных выпрямителей.

41. ТРЕХЭЛЕКТРОДНАЯ ЛАМПА

Возможности применения двухэлектродной лампы исчерпываются использованием ее в качестве выпрямителя и иногда в качестве детектора. Но так как двухэлектродная лампа является малочувствительным детектором, диодное детектирование применяется только в многоламповых приемниках, где принимаемые сигналы во много раз усиливаются до детектора. Ограниченные возможности применения двухэлектродных ламп обусловлены тем, что в диодах один и тот же электрод (анод) служит и для поддержания электронного тока и для управления им. Гораздо бóльшие возможности открывает электронная лампа, если в ней разделить эти две задачи между различными электродами—кроме электрода, поддерживающего электронный ток (т. е. анода), ввести еще один электрод, управляющий анодным током. Этот третий электрод, служащий для управления анодным током, называется **сеткой**. Введение сетки превращает лампу в трехэлектродную, или в **триод** (фиг. 84). Хотя в современной радиотехнике трехэлектродные лампы уже в значительной мере вытеснены лампами с большим числом электродов, но все же трехэлектродная лампа является основным типом электронной лампы. Многоэлектродные лампы являются лишь в том или ином отношении усовершенствованием трехэлектродной лампы. Поэтому как принцип действия электронной лампы вообще, так и ее назначение проще всего выясняются на примере трехэлектродной лампы. После того, как будут подробно рассмотрены трехэлектродная лампа и ее

применения, уже нетрудно будет разобраться в устройстве многоэлектродных ламп и тех преимуществах, которыми они обладают по сравнению с трехэлектродной. По этим соображениям трехэлектродной лампе уделено большое внимание в нашей книге.

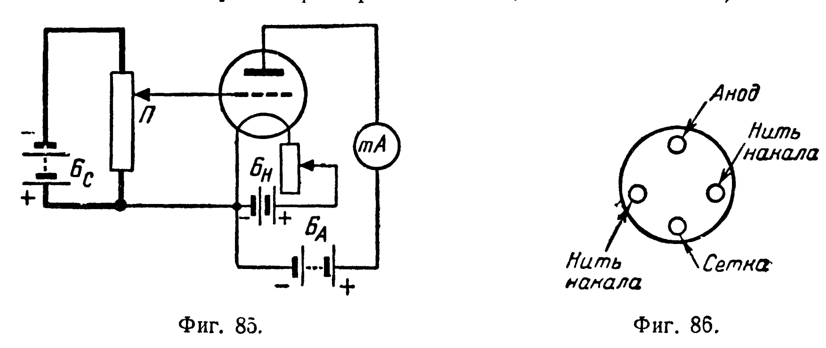
Итак, сетка трехэлектродной лампы служит для управления анодным током лампы. Чтобы сетка наилучшим образом выполняла это назначение, ее помещают ближе к нити. С другой стороны, чтобы электроны, вылетающие из нити, могли попадать на анод, сетку делают не сплошной, а в виде не очень густой проволочной спирали или сетки. Так как сетка расположена ближе к нити, чем анод, то подводимые в ней напряжения будут создавать около нити более сильное электрическое поле, чем такие же напряжения, подводимые к аноду. Поэтому напряжение, подводимое к сетке, будет гораздо сильнее влиять на силу анодного тока, чем такое же напряжение, подведенное к аноду. Ясно, что когда к сетке подведено положительное напряжение (относительно нити), оно действует согласно с анодным напряжением и усиливает анодный ток. Когда же к сетке приложено отрицательное напряжение, оно действует навстречу положительному анодному напряжению и ослабляет анодный ток. Таким образом, подводя к сетке то или иное напряжение, т. е. включая между сеткой и нитью какой-либо источник напряжения, величину которого можно изменять, например батарею $Б_с$ с потенциометром $П$ (фиг. 85), мы можем, изменяя напряжение на сетке, управлять силой анодного тока.



Фиг. 84.

Этот третий электрод, введенный в электронную лампу, несколько усложняет конструкцию лампы, а вместе с тем и способы ее включения. От нити, как и в диодах, должны быть сделаны два вывода, через которые к ней подводится ток накала. Кроме этого, каждый из двух других электродов лампы также должен иметь отдельный вывод. Следовательно, в трехэлектродной лампе должно быть четыре вывода. Эти четыре вывода обычно присоединяются к четырем ножкам, укрепленным на цоколе лампы. Для того, чтобы отдельные выводы можно было отличить друг от друга, ножки на цоколе располагаются несимметрично; именно ножка, к которой

присоединен вывод анода, отставляется немного в сторону. Расположение ножек на цоколе изображено на фиг. 86. Такая конструкция выводов применяется в большинстве трехэлектродных ламп приемного типа. Только в специальных лампах часто выводы располагаются иначе; например, в генераторных лампах во избежание пробоя вывод от анода делается с другой стороны баллона лампы (напряжение, подводимое к аноду генераторной лампы, бывает велико).



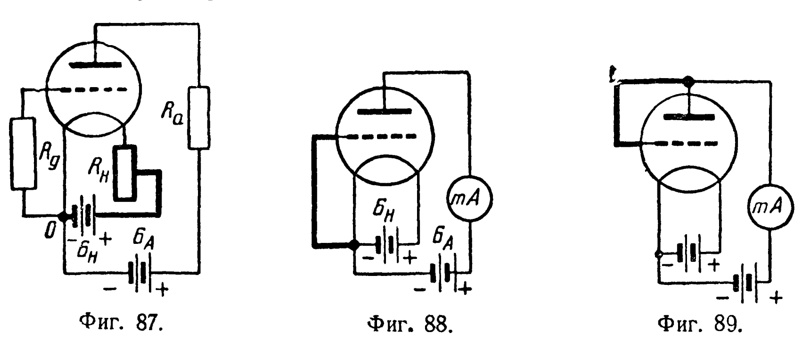
Фиг. 85. Фиг. 86.

Четыре вывода от электродов трехэлектродной лампы служат для включения ее в схему, причем во всякой схеме с трехэлектродной лампой следует различать три основные цепи (фиг. 87): цепь накала, состоящую из нити накала с присоединенными к ней источниками накала, в данном случае батареей накала $Б_н$, и реостатом накала $R_н$; цепь сетки, состоящую из сетки и включенной между сеткой и катодом «сеточной нагрузки» (в нашей схеме сопротивление R_g), и, наконец, цепь анода, состоящую из анода лампы, анодной нагрузки R_a и источника анодного напряжения, в данном случае анодной батареи $Б_А$. Точку 0, в которой сходятся эти три цепи (обычно это отрицательный полюс накала) иногда называют нулевой точкой схемы. В дальнейшем мы более подробно познакомимся с тем, в каких условиях и какие токи могут проходить в цепи сетки и в цепи анода и какую роль играют отдельные элементы, входящие в эти цепи. Сейчас же мы перейдем к вопросу о характеристиках трехэлектродной лампы.

42. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРЕХЭЛЕКТРОДНОЙ ЛАМПЫ

Характеристика трехэлектродной лампы вследствие наличия третьего электрода — сетки — существенно отличается

от характеристики двухэлектродной лампы. Если бы мы присоединили сетку накоротко к нити накала (фиг. 88) или к аноду лампы (фиг. 89), то мы получили бы в этом случае снова двухэлектродную лампу, так как сетка не представляла бы собой самостоятельного электрода, а являлась бы только частью одного из двух электродов лампы (нити или анода). В этом случае мы получили бы характеристики, подобные характеристикам двухэлектродных ламп. Такое вклю-

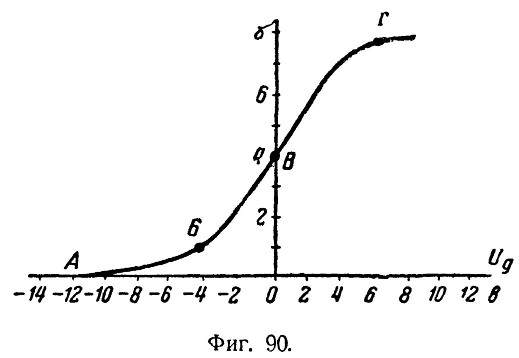


Фиг. 87. Фиг. 88. Фиг. 89.

чение лампы с закороченной (на анод или на катод) сеткой применяется, когда трехэлектродную лампу нужно использовать вместо диода. При этом так как напряжение на сетке влияет на анодный ток гораздо сильнее, чем напряжение на аноде, в триоде с сеткой, закороченной на анод, анодный ток будет гораздо сильнее, чем в триоде с сеткой, закороченной на катод, при одном и том же напряжении на аноде. Иначе говоря, триод с сеткой, закороченной на анод, будет представлять собой диод с гораздо меньшим внутренним сопротивлением, чем триод с сеткой, закороченной на катод. Когда сетка не соединена накоротко с одним из двух электродов лампы и к ней подводится какое-либо определенное напряжение от постороннего источника, при изменении этого напряжения будет изменяться и сила анодного тока. Эту зависимость между напряжением на сетке и силой анодного тока и дают так называемые сеточные характеристики анодного тока трехэлектродной лампы. Эти сеточные характеристики следует отличать от анодных характеристик, которые изображают зависимость анодного тока от напряжения на аноде лампы.

Посмотрим, какой вид должна иметь сеточная характеристика трехэлектродной лампы. Отложим на горизонтальной

оси (ось абсцисс) напряжения U_g, подводимые к сетке лампы (в вольтах), а на вертикальной оси (ось ординат) — силу анодного тока I_a (в миллиамперах) и будем наносить на этот график отдельные точки характеристики трехэлектродной лампы (фиг. 90). Будем рассматривать случай, когда напряжение на аноде лампы остается все время одно и то же (например 80 *в*) и изменяется только величина напряжения, подводимого к сетке. Чем больше будет отрицательное напряжение, подводимое к сетке, тем сильнее будет препятствовать создаваемое сеткой поле движению электронов к



Фиг. 90.

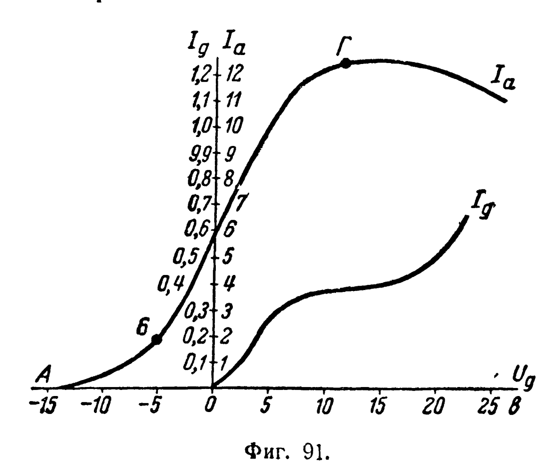
аноду и, следовательно, тем слабее будет анодный ток. При некотором достаточно большом отрицательном напряжении на сетке препятствующее движению электронов поле сетки будет у катода сильнее, чем способствующее движению поле анода, и анодный ток вовсе прекратится. Для этого препятствующее напряжение на сетке должно быть, очевидно, меньше, чем способствующее анодное напряжение, так как сетка ближе к катоду. Положим, что это происходит при напряжении в минус 12 *в*. Значит, в этой точке на оси абсцисс будет лежать начальная точка характеристики (точка *А* на фиг. 90). При уменьшении величины отрицательного напряжения на сетке появится некоторый анодный ток, сначала небольшой, а затем постепенно увеличивающийся. Это увеличение анодного тока сначала идет медленно, примерно до точки *Б*, а затем, начиная от точки *Б*, происходит значительно быстрее. Если мы будем дальше понижать отрицательное напряжение на сетке, то сила анодного тока будет возрастать дальше примерно пропорционально увеличению напряжения, и в этой части характеристика будет почти прямой линией.

Эта часть характеристики лампы так и называется «прямолинейной частью характеристики». Положим, что в тот момент, когда отрицательное напряжение на сетке уменьшено до нуля, т. е. когда напряжения на сетке вовсе нет, величина анодного тока будет составлять 4 *ма* (точка *В* характеристики). Этот анодный ток называется нулевым током, так как ему соответствует нулевое напряжение на сетке лампы. Для снятия точек характеристики в другую сторону от точки *В* мы должны подводить к сетке уже не отрицательные, а положительные напряжения. Чем больше будут эти положительные напряжения, тем сильнее будет помогать сетка движению электронов и тем больше будет величина анодного тока. Следовательно, от точки *В* характеристика будет продолжать подниматься кверху при увеличении положительного напряжения на сетке. Однако, как мы уже знаем, анодный ток не может возрастать выше определенного предела. Когда все электроны, выделяемые нитью, будут захватываться электрическим полем сетки и анода и переноситься на анод, тогда наступит насыщение. Дальнейшее увеличение напряжения на сетке уже не вызовет возрастания анодного тока. Характеристика перестанет подниматься кверху, а пойдет параллельно оси абсцисс. Положим, что ток насыщения лампы составляет 8 *ма* и что анодный ток достигнет величины тока насыщения при положительном напряжении на сетке, равном 6 *в* (точка *Г* характеристики). Это и будет точка перегиба, дальше которой характеристика пойдет горизонтально.

43. ТОК СЕТКИ

При построении характеристики мы принимали во внимание только напряжение, подводимое к сетке лампы, но не рассматривали вопроса о том, существует ли ток в цепи сетки. Выясним, в каких случаях возможно появление тока в цепи сетки. Пока к сетке подведено отрицательное напряжение, она отталкивает электроны, пролетающие мимо нее, и значит, электроны на сетку не попадают. Вследствие этого при отрицательном напряжении на сетке тока в ее цепи нет. Но картина существенно изменится, если мы подведем к сетке положительное напряжение. В этом случае сетка притягивает к себе электроны, и часть электронов может попасть на сетку. Электроны, попадающие на сетку, будут через цепь сетки возвращаться к нити и, следовательно, во внешней цепи

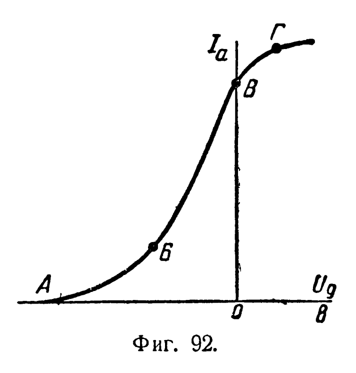
сетки будет проходить электрический ток, направленный от нити к сетке (электроны движутся от сетки к нити). Вследствие того, что сетка представляет собой не сплошной электрод, а проволочную спираль или сетку, значительная часть электронов пролетит сквозь сетку к аноду и только небольшое число электронов попадет на сетку. Поэтому сила тока в цепи сетки будет гораздо меньше, чем в цепи анода, если напряжения на сетке не очень велики.



Фиг. 91.

После всего сказанного легко построить характеристику тока сетки I_g (фиг. 91). Эта характеристика начнется примерно от нуля и затем будет постепенно подниматься при повышении напряжения на сетке. Когда ток анода достигнет тока насыщения, ток в цепи сетки будет иметь некоторую определенную величину (ток сетки на нашей фигуре изображен в увеличенном масштабе по сравнению с анодным током). Оба эти тока — анодный и сеточный — образуются электронами, вылетающими из нити, и, следовательно, полный ток, отдаваемый нитью (ток эмиссии), равен сумме сеточного и анодного токов. Пока напряжения на сетке невелики, величина сеточного тока также невелика, и поэтому приблизительно можно считать, что ток анода при насыщении равен полному току эмиссии. Но если напряжение на сетке будет повышаться дальше, то это предположение станет неправильным. Ток сетки будет возрастать, и так как ток эмиссии остается постоянным (он определяется только накалом

нити), то, очевидно, анодный ток начнет уменьшаться, так как из общего числа электронов, остающегося постоянным, все бо́льшая и бо́льшая часть попадает на сетку, а значит, все меньшая и меньшая — на анод. Следовательно, при дальнейшем повышении положительного напряжения на сетке ток сетки начнет возрастать, а анодный ток — спадать. Этому соответствует участок за точкой *Г* анодной характеристики, который называется «спадающей частью характеристики». Спадание анодного тока на этом участке усиливается вследствие возникновения еще одного явления, так называемой вторичной эмиссии, о котором речь будет итти ниже. В обычных схемах напряжения на сетке бывают невелики, поэтому существенную роль в большинстве случаев играет только участок характеристики до тока насыщения, т. е. слева от точки *Г*. Только в некоторых специальных случаях, когда напряжения на сетке могут оказаться очень большими, приходится принимать во внимание также и спадающую часть анодной характеристики.



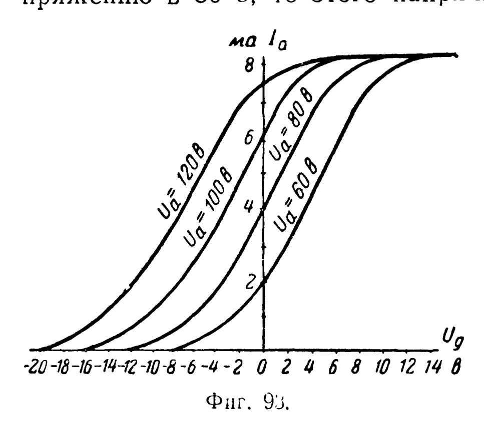
Фиг. 92.

Как мы увидим ниже, в большинстве схем наличие тока сетки ухудшает работу схемы. Поэтому обычно приходится принимать меры к его устранению. Путь к этому ясен—нужно сетку поставить в такие условия, чтобы напряжения на ней всегда были отрицательны, но при этом анодный ток имел бы некоторую не слишком малую величину. Поэтому большим преимуществом всякой приемной лампы считается наличие «левой характеристики», т. е. такой характеристики, вся прямолинейная часть которой (участок *БВ*) при нормальном анодном напряжении лежит в области отрицательных напряжений, как на фиг. 92. Лампа, обладающая такой характеристикой, при соответствующем подборе напряжений на сетке будет работать при полном отсутствии сеточного тока.

44. ПАРАМЕТРЫ ТРЕХЭЛЕКТРОДНОЙ ЛАМПЫ

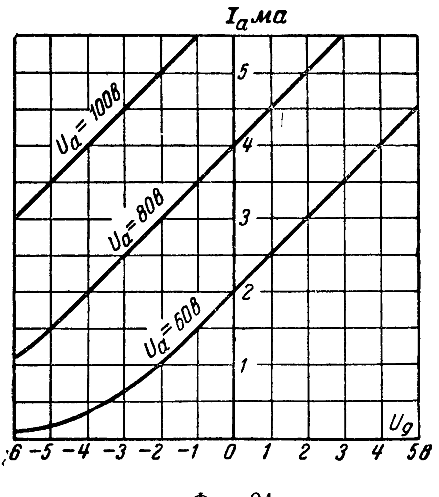
При построении характеристики, приведенной на фиг. 90, мы предполагали, что на лампу подано некоторое постоянное анодное напряжение, которое мы приняли равным 80 *в*.

Посмотрим теперь, как изменится картина, если мы повысим анодное напряжение, например, до 100 *в*. Очевидно, что в этом случае при напряжении на сетке в минус 12 *в* в анодной цепи будет еще проходить некоторый ток, так как при меньшем анодном напряжении и при том же напряжении на сетке ток в анодной цепи как раз появлялся. Следовательно, если отрицательное напряжение в 12 *в* оказалось достаточным для того, чтобы противодействовать анодному напряжению в 80 *в*, то этого напряжения уже будет мало для того, чтобы противодействовать анодному напряжению в 100 *в*. Поэтому при анодном напряжении в 100 *в* отрицательное напряжение на сетке, при котором прекращается анодный ток, должно быть несколько больше. Положим, что это напряжение составляет минус 16 *в*. Начиная от этой точки, при уменьшении напряжения на сетке, характеристика лампы пойдет так же, как и в случае напряжения в 80 *в* (фиг. 93), но останется все время сдвинутой по отношению к характеристике, соответствующей напряжению в 80 *в*. Очевидно, что и при отсутствии напряжения на сетке в случае анодного напряжения в 100 *в* анодный ток (нулевой ток) будет больше, чем при напряжении в 80 *в*. Словом, до самого конца (пока не будет достигнут ток насыщения) характеристика, относящаяся к 100 *в*, будет проходить выше характеристики, относящейся к 80 *в*. Значение же тока насыщения для обоих случаев будет одно и то же. Таким образом, увеличение анодного напряжения приводит к тому, что вся характеристика целиком сдвигается влево. При уменьшении анодного напряжения, например, до 60 *в* мы получим обратную картину: анодные токи при тех или других напряжениях на сетке будут соответственно меньше, чем при анодном напряжении в 80 *в*. Таким образом, уменьшение анодного напряжения приводит к тому, что характеристика сдвигается вправо.



Фиг. 93.

Снимая характеристики трехэлектродной лампы при разных анодных напряжениях, мы получим целый ряд характеристик лампы, которые принято называть «семейством характеристик». Такое семейство характеристик и изображено на фиг. 93. Около каждой характеристики указано анодное напряжение, при котором эта характеристика снята. Располагая семейством характеристик лампы, можно сделать выводы об основных свойствах трехэлектродной лампы. Свойства эти удобнее всего характеризовать при помощи трех основных величин, так называемых основных параметров лампы. Эти три основных параметра лампы и могут быть определены непосредственно из семейства характеристик лампы.



Фиг. 94.

В качестве примера определим параметры лампы, семейство характеристик которой приведено на фиг. 93. Чтобы удобнее было производить отсчеты, на фиг. 94 приведен один участок характеристик этого семейства в увеличенном масштабе.

Первый из трех параметров лампы — это так называемая крутизна характеристики, которая показывает, как круто поднимается характеристика кверху, т. е. насколько увеличивается анодный ток в лампе при увеличении напряжения на сетке. Крутизна характеристики определяется отношением увеличения силы анодного тока к вызвавшему его увеличению напряжения на сетке (при условии, что анодное напряжение остается неизменным), или иначе — крутизна характеристики равна увеличению анодного тока при увеличении напряжения на сетке на 1 *в*. Так как анодный ток измеряется обычно в миллиамперах, то крутизну характеристик принято определять в миллиамперах на вольт. Крутизна характеристики обозначается буквой S. Для лампы, семейство характеристик которой приведено на фиг. 94, как легко под-

считать, крутизна характеристики в средней прямолинейной части составляет 0,5 *ма* на вольт. Действительно, в средней части характеристик при изменении напряжения на 1 *в* сила анодного тока изменяется на 0,5 *ма*, т. е. S=0,5 *ма/в*.

Вторым из основных параметров лампы является так называемая проницаемость, которая показывает, насколько сдвигается характеристика лампы по оси абсцисс при изменении анодного напряжения на 1 *в*. Так как смещение характеристики по оси абсцисс есть также величина, выражаемая в вольтах, то проницаемость представляет собой отношение вольт к вольтам, т. е. величину отвлеченную. Обозначается обычно проницаемость буквой D. На практике, однако, неудобно снимать характеристики при анодных напряжениях, отличающихся только на 1 *в*, так как в этом случае они будут проходить близко одна от другой. Поэтому характеристики снимают при напряжениях, отличающихся значительно одно от другого, например, при разнице в 20 *в*, как это сделано для случая, приведенного на фиг. 94. Для того, чтобы определить проницаемость лампы по этому семейству характеристик, нужно взять отношение величины, на которую по оси абсцисс смещены две какие-либо характеристики друг относительно друга, к разности анодных напряжений, при которых эти характеристики сняты. Для случая, приведенного на фиг. 94, характеристика для 80 *в* сдвинута относительно характеристики для 60 *в* на 4 *в* (считаем по масштабу, отложенному на оси абсцисс). Значит, проницаемость лампы составляет

$$D = \frac{4}{80-60} = \frac{4}{20} = 0{,}2.$$

Так как проницаемость всегда меньше 1,то ее удобно выражать в процентах. В нашем примере $D = 20\%$.

Легко сообразить, что проницаемость лампы показывает, во сколько раз слабее действует на силу анодного тока анодное напряжение, чем сеточное. Действительно, если в нашем примере мы увеличим анодное напряжение на 20 *в*, то напряжение на сетке надо уменьшить на 4 *в*, чтобы анодный ток остался неизменным. Ясно, что величина, обратная проницаемости, т. е. $1/D$, показывает, во сколько раз сеточное напряжение сильнее влияет на величину анодного тока, чем анодное напряжение (например, в нашем случае сеточное напряжение влияет на величину анодного тока в 5 раз сильнее, чем анодное). Поэтому величину $1/D$ называют усили-

тельной постоянной (или коэффициентом усиления) лампы. Усилительную постоянную обозначают буквой μ (греческая буква «мю»). Очень часто усилительную постоянную принимают за второй основной параметр трехэлектродной лампы вместо проницаемости D.

Третий из основных параметров лампы — это ее внутреннее сопротивление. Величина внутреннего сопротивления лампы показывает, насколько увеличивается анодный ток с увеличением анодного напряжения, при условии, что напряжение на сетке остается постоянным. Отношение увеличения анодного напряжения к соответствующему увеличению анодного тока и называется внутренним сопротивлением лампы. Как и всякое отношение напряжения к силе тока, внутреннее сопротивление лампы выражается в омах; обозначается оно обычно через R_i. В нашем случае (фиг. 94) повышение анодного напряжения на 20 *в* вызывает (при постоянном напряжении на сетке, равном нулю) увеличение анодного тока на 2 *ма*, т. е. на 0,002 *а*. Разделив напряжение в 20 *в* на силу тока в 0,002 *а*, мы получим внутреннее сопротивление лампы, равное 10 000 *ом*.

Три введенных нами основных параметра лампы — крутизна характеристики S, проницаемость D (или усилительная постоянная μ) и внутреннее сопротивление R_i—не являются независимыми. Для всякой трехэлектродной лампы существует вполне определенное соотношение между этими параметрами. Это соотношение, справедливое для всех трехэлектродных ламп независимо от их конструкции, заключается в следующем.

Произведение трех основных параметров S, D и R_i равно единице, т. е. $SDR_i = 1$ или $SR_i = \mu$. Этим соотношением можно пользоваться для определения одного из параметров, когда два других известны. Так, в нашем примере, вычислив S и D, мы могли бы воспользоваться тем, что $R_i = \frac{1}{SD}$, и найти R_i по S и D, не определяя его по характеристикам. Так как в нашем примере

$$S = 0,5\ ма/в = \frac{5}{10\,000}\ а/в$$

и

$$D = 20\,\% = \frac{2}{10},$$

то

$$R_i = \frac{10\,000 \cdot 10}{5 \cdot 2} = 10\,000\ ом,$$

т. е. та же величина, которую мы получили вычислением по семейству характеристик.

Три основных параметра электронной лампы определяют ее свойства и пригодность ее для тех или других целей. Лампы, предназначенные для различных целей, могут иметь весьма различные параметры. В зависимости от назначения лампы и особенностей схемы в одних случаях выгоднее применять лампы с большой крутизной характеристики, в других случаях с малой проницаемостью (причем крутизна характеристики играет второстепенную роль) и т. д. О том, какими параметрами должны обладать лампы, предназначенные для тех или иных целей, выяснится при рассмотрении их работы в схемах.

45. ЛАМПА КАК УСИЛИТЕЛЬ

Одной из важнейших областей применения электронной лампы является усиление. И хотя для целей усиления сейчас обычно применяются не трехэлектродные, а многоэлектродные лампы, но самый принцип работы электронной лампы как усилителя лучше всего выясняется при рассмотрении усилительного действия трехэлектродной лампы.

Усилительное действие трехэлектродной лампы основано на использовании того факта, что напряжения, приложенные к сетке, сильнее влияют на величину анодного тока, чем напряжения, приложенные к аноду. Действительно, если мы подведем к сетке лампы какие-либо электрические колебания, то вследствие изменения напряжений на сетке анодный ток также будет изменяться и в своих изменениях следовать за колебаниями, подводимыми к сетке лампы. При этом очень существенно, что лампа представляет собой прибор, практически не обладающий инерцией, так как сила тока почти мгновенно следует за теми напряжениями, которые на лампу действуют. И вследствие того, что эти напряжения подводятся к сетке лампы, изменения анодного тока будут гораздо более сильны, чем если бы мы подводили напряжения непосредственно к аноду лампы. Включив в анодную цепь лампы соответствующую нагрузку, можно на этой нагрузке получить такие же по форме колебания напряжения, как и те, которые подведены к сетке лампы, но значительно усиленные. Таким образом, трехэлектродная лампа может играть роль усилителя электрических колебаний.

Принцип действия лампы как усилителя, который мы только что изложили, очевидно, в одинаковой степени отно-

сится к усилению колебаний как высокой, так и низкой частот. Для лампы, в сущности, нет никакой разницы между колебаниями высокой и низкой частоты, так как и те и другие колебания являются медленными колебаниями по сравнению с теми скоростями, с которыми происходят процессы внутри лампы, и, в частности, по сравнению с тем временем, в течение которого электроны пролетают путь от катода к аноду. Только в случае наиболее быстрых колебаний, частота которых превосходит 100 *мггц* (т. е. волн короче 3 *м*), продолжительность периода колебаний уже столь мала, что становится сравнимой с временем пролета электронов от нити к аноду; для всех же более длинных волн можно считать, что все процессы внутри лампы происходят очень быстро и что сила анодного тока лампы полностью успевает следовать за всеми изменениями напряжений на сетке лампы. Поэтому процессы усиления как высокой, так и низкой частоты протекают в самой лампе принципиально одинаково. Однако, когда лампа работает в схеме, то напряжения к ней должны быть подведены от каких-то элементов схемы, а проходящие в ней токи должны быть подведены к другим элементам схемы. Между тем свойства этих элементов (сопротивлений, емкостей и т. д.), а также и всех соединительных проводов схемы и выводов лампы (которые также обладают сопротивлением, емкостью и индуктивностью) совершенно различны для токов разной частоты. Поэтому не только в самих схемах, но даже и в конструкции ламп, предназначенных для усиления различных частот, существуют значительные различия. Эти различия будут отмечены при рассмотрении схем усилителей, предназначенных для той или иной цели. Сейчас же мы рассмотрим работу самой лампы, предназначенной для усиления электрических колебаний.

Поскольку независимо от частоты усиливаемых колебаний и типа усилителя все лампы, работающие в качестве усилительных, выполняют принципиально одну и ту же задачу, они должны работать вообще в одинаковом режиме. Только в некоторых специальных схемах усиления (например, схемах пушпул, о которых речь будет итти ниже, или генераторных схемах) лампы приходится ставить в специальный режим. Рассмотрим подробнее тот режим, в котором обычно работают усилительные лампы.

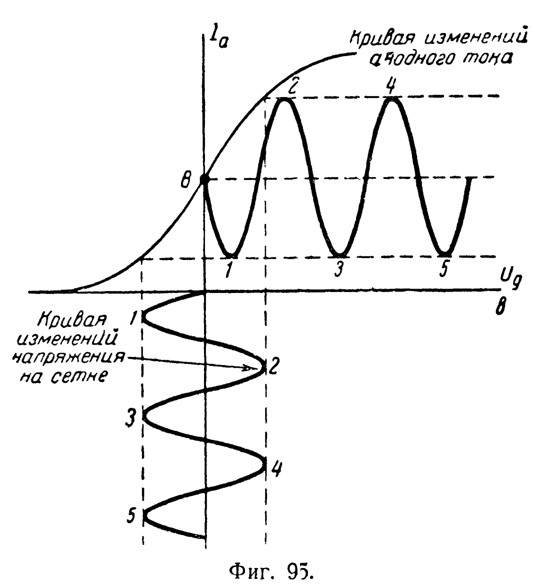
Если подводить к лампе некоторые переменные напряжения, то на анодной нагрузке мы будем иметь такие же переменные напряжения, но усиленные в определенное число раз.

Поэтому, чем больше будут напряжения, подводимые к сетке лампы, тем больше будут и напряжения, получающиеся в анодной цепи. Однако, в этом направлении нельзя итти как угодно далеко. Ведь задача заключается не только в том, чтобы получить в анодной цепи большие напряжения. Нужно также, чтобы форма того переменного напряжения, которое подводится к сетке, оставалась неизменной, т. е. в анодной цепи ток должен иметь ту же форму, какую имеет напряжение, подведенное к сетке. Ясно, почему это необходимо. Определенной форме кривой соответствуют вполне определенные звуки или сигналы и если форма кривой будет при усилении искажена, то вместе с тем будут искажены и те звуки или сигналы, которые получаются в приемнике или репродукторе, т. е. усилитель будет искажать передачу. Это требование — сохранение формы кривой подводимых колебаний — является весьма существенным при усилении. Оно как раз и ставит предел тем напряжениям, которые могут быть подведены к сетке лампы, а следовательно, и тем напряжениям, которые могут быть получены в анодной цепи лампы после усиления. Рассмотрим подробнее, чем этот предел определяется.

Положим, что к сетке усилительной лампы подводятся переменные напряжения, и будем считать, для простоты, что эти напряжения имеют синусоидальную форму. Чтобы определить, как будет при этом изменяться сила тока в анодной цепи лампы, обратимся к характеристике лампы (фиг. 95) и воспользуемся таким приемом. Будем откладывать подводимое к сетке переменное (синусоидальное) напряжение вниз по вертикальной оси. Каждому значению переменного напряжения на сетке будет соответствовать определенное значение анодного тока, которое мы найдем, проводя вертикальную линию от значения напряжения до пересечения с характеристикой лампы. Найденные значения анодного тока мы расположим также последовательно одно за другим, считая, что время растет по горизонтальной оси вправо. Из этого построения видно, что пока характеристика лампы прямолинейна, последовательные значения анодного тока так же образуют синусоиду. Поэтому при не слишком больших значениях напряжения на сетке, пока эти напряжения не выходят за пределы прямолинейной части характеристики лампы, мы получим в анодной цепи также синусоидальные изменения силы анодного тока, т. е. в конечном счете синусоидальные же изменения напряжения на концах некоторой анодной нагрузки. Таким образом, форма кривой напряжений, подве-

денных к сетке, будет сохранена, и усилитель будет работать без искажений.

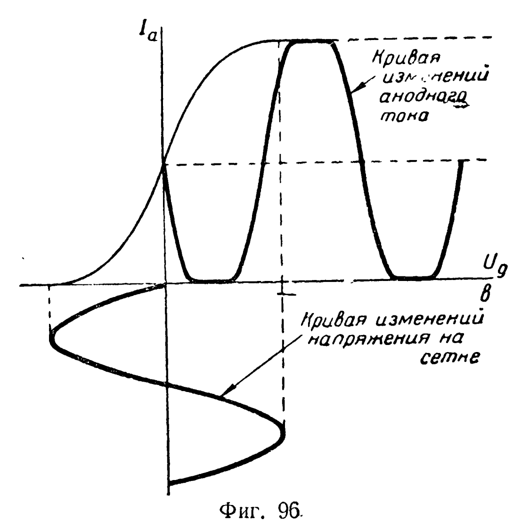
В случае же, если напряжения, подводимые к сетке, будут настолько велики, что они будут заходить за пределы прямолинейной части характеристики (фиг. 96), то, очевидно, форма кривой анодного тока уже не будет совпадать с формой кривой напряжений, подводимых к сетке. Форма кривой напряжений, получаемых в анодной цепи, будет искажена, и,



Фиг. 95.

значит, усилитель будет работать с искажениями. Искажения эти будут заметны тем более, чем больше амплитуды напряжений, подводимых к сетке. Так как эти искажения сводятся к тому, что большие значения амплитуд тока в анодной цепи оказываются как бы срезанными и между различными амплитудами анодного тока не сохраняется то соотношение, которое существовало между теми же амплитудами в сеточном напряжении, эти искажения носят названия **амплитудных искажений**. Очевидно, чтобы не возникали амплитудные искажения, нужно работать на прямолинейной части характеристики лампы. Это условие может быть соблюдено, если напряжения, подводимые к сетке лампы, не будут чересчур велики. Так как эти напряжения переменные, то на-

пряжение на сетке будет иметь то положительное, то отрицательное значение, и поэтому для того, чтобы не возникли амплитудные искажения как при положительных, так и отрицательных напряжениях, выгоднее всего работать на средней точке прямолинейной части характеристики. Этот именно режим изображен на фиг. 95 (точка *В* — средняя точка прямолинейного участка характеристики). Как же можно достигнуть того, чтобы лампа работала на средней точке прямолинейного участка анодной характеристики? Очевидно, для

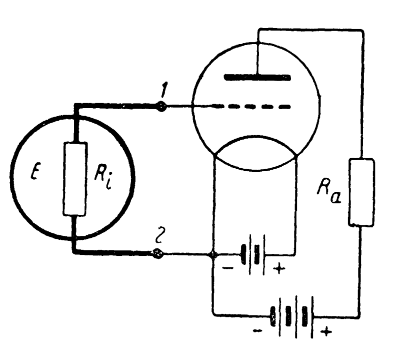


Фиг. 96.

этого нужно выбрать правильно анодное напряжение, так как при изменении напряжения на аноде вся характеристика целиком передвигается вдоль оси абсцисс. Поэтому всегда нужно выбрать так анодное напряжение, чтобы нулевому напряжению на сетке соответствовала средняя точка анодной характеристики. Например, для характеристик, изображенных на фиг. 93, это получается при анодном напряжении в 80 *в*.

Однако, правильный выбор рабочей точки на характеристике анодного тока еще не устраняет полностью опасности возникновения искажений в лампе. Причиной искажений может быть появление сеточного тока в лампе. Как мы уже указывали, сеточный ток в лампе возникает при положительных напряжениях на сетке вследствие того, что часть элек-

тронов, двигающихся от катода к аноду, садится на проволоки сетки. Начинается сеточный ток примерно при нулевом напряжении на сетке и возрастает с увеличением положительного напряжения на сетке. При отрицательных же напряжениях на сетке сеточный ток отсутствует. Именно это обстоятельство — возникновение сеточных токов только при положительных полупериодах напряжения на сетке—и вызывает искажения усиливаемых сигналов. Непосредственная причина искажений заключается в том, что возникновение тока в цепи сетки неизбежно вызывает падение напряжения на зажимах того источника, от которого переменные напряжения подводятся к сетке лампы. Действительно, источник переменной э. д. с. E (фиг. 97), подводимой к сетке лампы (это может быть вторичная обмотка трансформатора, колебательный контур и т. п.), всегда обладает некоторым внутренним сопротивлением R_i. Поэтому, если источник будет давать ток, то внутри него будет происходить падение напряжения и напряжение, создаваемое источником на сетке лампы, т. е. между точками *1* и *2*, будет меньшим, чем в отсутствии сеточного тока. Сеточный ток не просто уменьшает напряжение, даваемое источником, как это бывает в случае обычной нагрузки, а искажает форму этого напряжения, ослабляя его положительные значения. Между тем, если рабочая точка соответствует нулевому напряжению на сетке, то при подаче на нее колебаний в течение одного полупериода сетка будет находиться под положительным напряжением, а в течение другого полупериода — под отрицательным. Вследствие этого первый полупериод вызовет появление сеточного тока и соответствующее падение напряжения в цепи сетки, т. е. уменьшение напряжения, действующего между сеткой и нитью. Во время же второго полупериода сеточного тока не будет, а следовательно, не будет и падения напряжения в цепи. Таким образом, напряжение между сеткой и нитью во время положительных полупериодов будет меньше, чем во время отрицательных. Та же несимметрия сохранится и в



Фиг. 97.

форме анодного тока после усиления, форма колебаний после усиления изменится, т. е. усилитель будет давать искажения.

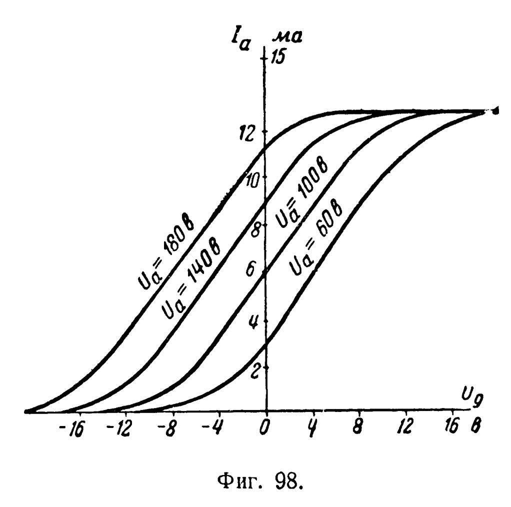
46. СЕТОЧНОЕ СМЕЩЕНИЕ

Чтобы воспрепятствовать возникновению тока в цепи сетки и устранить опасность искажений, достаточно устранить появление на сетке положительных напряжений, т. е. сделать так, чтобы и во время положительных полупериодов переменного напряжения сетка оставалась все же под отрицательным напряжением. Для этого нужно подать на сетку некоторое постоянное отрицательное напряжение, величина которого должна быть больше, чем амплитуды колебаний, подводимых к сетке. Например, если к сетке для усиления подводятся амплитуды в 1 *в*, то при постоянном отрицательном напряжении на сетке в 2 *в* общее напряжение на ней будет изменяться от —3 до —1 *в*. Это постоянное отрицательное напряжение, которое смещает рабочую точку влево, называется сеточным смещением.

Если анодное напряжение выбрано так, что при нулевом напряжении на сетке рабочая точка находится в середине прямолинейной части характеристики, то при наличии сеточного смещения она сдвинется влево, ближе к нижнему изгибу характеристики. Чтобы рабочая точка оставалась на характеристике все же посредине, нужно вместе со смещением рабочей точки сместить влево и всю характеристику, т. е. увеличить анодное напряжение. Для того, чтобы точка осталась на характеристике на прежнем месте, т. е. чтобы величина анодного тока при отсутствии переменных напряжений на сетке не изменилась, нужно, чтобы отношение увеличени анодного напряжения к сеточному смещению как раз был бы равно усилительной постоянной лампы. Так, например для лампы, характеристики которой изображены на фиг. 9 и усилительная постоянная которой равна 10, при отсутстви сеточного смещения и анодном напряжении 100 *в* рабоча точка будет лежать в середине прямолинейной части хара теристики (нулевой анодный ток 6 *ма*). При сеточном смещении в —4 *в* нужно увеличить анодное напряжение до 140 Тогда рабочая точка снова останется на середине прямол нейной части характеристики (нулевой анодный ток попре нему равен 6 *ма*). При сеточном смещении в —8 *в* нужно анодное напряжение увеличить до 180 *в*, тогда положение

рабочей точки на характеристике снова останется неизменным.

Итак, для устранения искажений при работе лампы в качестве усилителя необходимо правильно выбрать анодное напряжение и сеточное смешение. При этом между анодным напряжением и сеточным смещением существует вполне определенная связь—чем больше отрицательное смещение на сетке, тем больше должно быть анодное напряжение для



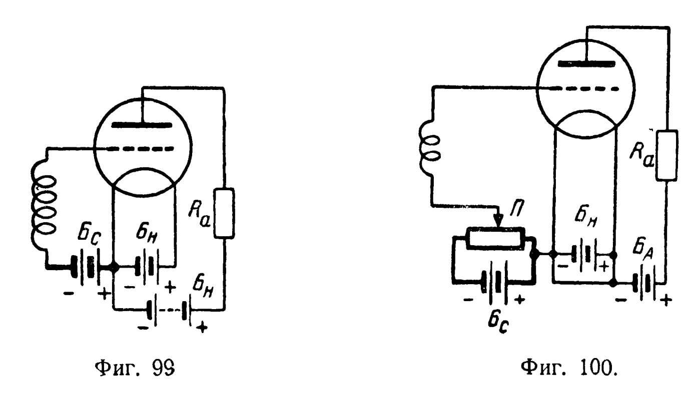
Фиг. 98.

того, чтобы лампа работала в средней, прямолинейной части характеристики.

Сеточное смещение иногда задается с помощью специальной батареи смещения $Б_с$, либо непосредственно подающей на сетку соответствующее отрицательное напряжение (фиг. 99), либо подающей это напряжение через потенциометр *П* (фиг. 100), который позволяет подводить к сетке только часть напряжения батареи, подбирая величину напряжения, наивыгоднейшую при данных условиях. Но и без специальной батареи на сетке может получиться некоторое постоянное напряжение по отношению к нити вследствие наличия в цепи нити и анодной цепи постоянных токов, а значит, и постоянных падений напряжения.

Прежде всего посмотрим, какое влияние на напряжение, под которым находится сетка, может оказать наличие тока накала в цепи нити. Напряжение, подаваемое к концам нити,

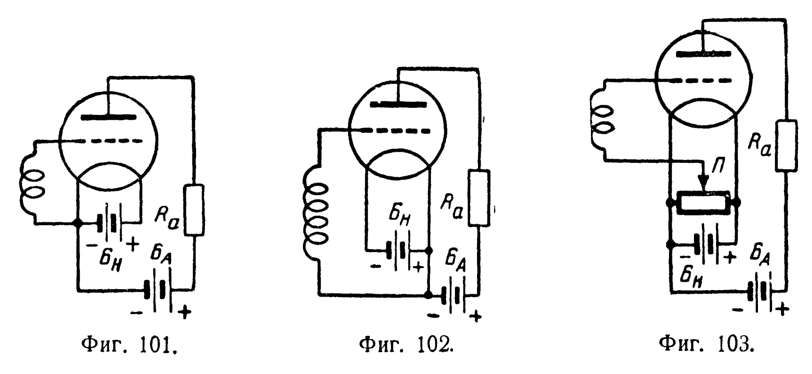
распределяется вдоль нити лампы (так как проходящий по нити ток накала создает вдоль нее падение напряжения). По отношению к какому-либо концу нити (и вообще какой-либо точке схемы) различные части нити находятся под разным напряжением. Поэтому, когда мы хотим определить напряжение сетки относительно нити, то нужно заранее условиться, по отношению к какой именно точке нити мы отсчитываем напряжение на сетке. Как мы уже указывали, в ламповых схемах принято считать «нулевой точкой» отрицательный конец нити накала и по отношению к нему отсчитывать все на-



Фиг. 99 Фиг. 100.

пряжения в схеме. Если мы говорим: «напряжение на сетке равно нулю», то обычно (пока не сделано специальных оговорок) это нужно понимать так, что напряжение на сетке такое же, как и напряжение на отрицательном конце нити. Но напряжение всех остальных точек нити по отношению к ее отрицательному концу положительно и тем выше, чем дальше данная точка лежит от отрицательного конца нити (это обусловлено, как уже указывалось, тем, что ток накала создает падение напряжения вдоль нити от ее положительного к отрицательному концу). Следовательно, когда сетка присоединена к отрицательному концу нити, то все точки нити находятся под различным, но везде положительным напряжением по отношению к сетке, а следовательно, сетка по отношению к различным точкам нити находится под разным, но везде отрицательным напряжением. Таким образом, присоединение цепи сетки к отрицательному концу нити (фиг. 101) фактически означает задание некоторого отрицательного смещения на сетке по отношению к нити, равного,

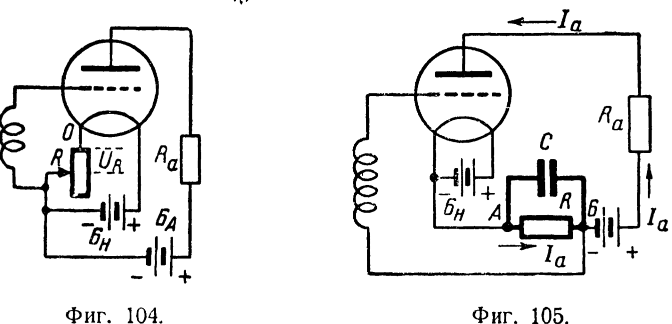
в среднем, половине напряжения накала. Наоборот, если сетку присоединить к положительному концу нити, то все точки нити, находящиеся под отрицательным напряжением по отношению к этому концу нити, окажутся под отрицательным напряжением и по отношению к сетке; следовательно, присоединение сетки к положительному концу нити накала (фиг. 102) фактически означает задание некоторого положительного напряжения на сетку лампы, в среднем равного половине напряжения накала. Следовательно, присоединяя сетку к тому или другому концу нити, мы можем задавать лишь вполне определенное положительное или отрицательное напряжение на сетку (как уже сказано, в среднем равное половине напряжения накала). Небольшое дополнение к схеме позволяет задавать на сетку не только эти два определенных напряжения, но и все промежуточные значения между ними. Для этого между концами нити включается потенциометр *П* сопротивлением в несколько сот ом (фиг. 103). Вдоль потенциометра напряжение распределяется равномерно так же, как и вдоль нити, и поэтому напряжение на соответствующих точках нити и потенциометра будет одно и то же. Таким образом, мы получаем возможность присоединить цепь сетки не только к одному из концов нити, но и к точке, находящейся под таким же напряжением, как и любая точка нити. Для этого нужно поставить движок потенциометра в соответствующее положение.



Фиг. 101. Фиг. 102. Фиг. 103.

В том случае, когда напряжение батареи накала превышает напряжение, потребное для нормального накала нити, в цепь накала включается специальный реостат, на котором падает избыточное напряжение батареи. Это избыточное на-

пряжение также может быть использовано для задания смещающего напряжения на сетку. Действительно, если мы включим реостат накала в отрицательный провод цепи накала и присоединим цепь сетки до реостата накала R (фиг. 104), то сетка окажется по отношению к отрицательному концу нити (точке 0) под отрицательным напряжением, $U_R = RI_н$ — падению напряжения на реостате (это падение напряжения получается вследствие того, что по реостату проходит ток накала $I_н$).



Фиг. 104. Фиг. 105.

Таким образом, присоединяя цепь сетки к различным точкам цепи накала, мы даем различные смещающие напряжения на сетку. Поэтому, составляя ламповую схему, всегда следует задуматься над тем, к какой точке цепи накала присоединить цепь сетки. Обычно в усилительных лампах выгодно подать на сетку отрицательное смещение, поэтому прежде всего, независимо от того, применяются ли специальные смещающие напряжения или нет, концы сеточных цепей всегда присоединяют к отрицательному концу нити накала.

Принципиально не безразлично так же, к какой точке цепи накала присоединяется конец анодной цепи (отрицательный полюс анодной батареи). Практически же это не играет существенной роли. Впрочем, принято присоединять его так же к отрицательному концу нити накала (кроме специальных случаев, например питания накала переменным током).

Смещающее напряжение можно подать на сетку не только при помощи специальной батареи или за счет напряжения накала, но и за счет падения напряжения, которое может быть создано в анодной цепи, по которой проходит ток. Действительно, если в цепь анода включить сопротивле-

ние R, то по этому сопротивлению будет проходить анодный ток I_a (фиг. 105). Так как электроны движутся от анода к нити, то, следовательно, направлением тока в цепи анода нужно считать направление от нити к аноду (указано на фиг. 105 стрелками). Этот ток создает в сопротивлении R падение напряжения, причем, очевидно, точка $Б$ по отношению к точке $А$ будет находиться под отрицательным напряжением. Поэтому, если мы конец цепи сетки присоединим не непосредственно к отрицательному концу нити накала, а после сопротивления R, т. е. к точке $Б$, то сетка по отношению к нити окажется под отрицательным напряжением, величина которого равна падению напряжения на сопротивлении R, т. е. равна RI_a. Если, например, $R = 1\,000$ *ом*, а $I_a = 5$ *ма*, то сетка при таком включении получит отрицательное смещение в 5 *в*. Так как в цепях сетки и анода кроме постоянных токов проходят и переменные токи высокой или низкой частоты (в зависимости от типа усилителя), то эти токи создавали бы переменное падение напряжения на сопротивлении R, служащем для задания смещения на сетку. Эти переменные напряжения вызвали бы ненужное воздействие анодной цепи на сеточную. Поэтому параллельно сопротивлению R всегда включается достаточно большая емкость C, через которую переменные токи проходят, минуя сопротивление R. Описанный нами способ задания смещающего напряжения за счет падения напряжения в анодной цепи называют **автоматическим смещением**. Этот способ удобен тем, что он не требует специальных батарей смещения и поэтому он получил широкое распространение на практике.

47. ПИТАНИЕ НАКАЛА ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ

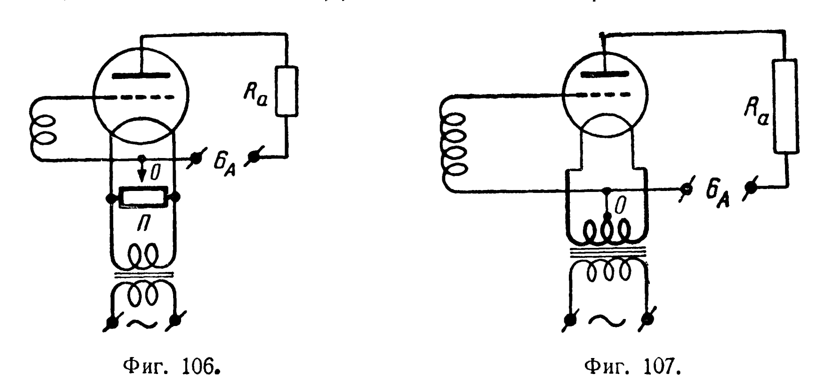
Питание накала ламп даже экономичных (с активированными нитями) требует постоянного расхода энергии, т. е. смены гальванических батарей накала или зарядки аккумуляторов накала. Питание цепей накала непосредственно от осветительной электрической сети (конечно там, где она есть) оказывается гораздо более удобным и выгодным, особенно в случае сетей переменного тока. (В случае сети постоянного тока иногда бывает выгоднее для накала пользоваться аккумулятором и оборудовать устройство для зарядки аккумулятора от сети постоянного тока.)

Для питания накала от сети переменного тока напряжение сети приходится понижать, так как напряжение сети

обычно равно 110, 120 или 220 *в*, напряжение же, потребное для накала ламп, редко превышает 6 *в*. Понижение напряжения производится при помощи понижающих трансформаторов, подобно тому как это делается для накала кенотронов. Однако, при питании накала ламп переменным током возникают трудности, которые необходимо иметь в виду. Прежде всего, если нить лампы очень тонкая, то при питании переменным током она успевает немного остыть за то время, когда ток накала близок к нулю. Вместе с температурой нити падает и ток эмиссии. Это приводит к тому, что и анодный ток лампы немного колеблется вместе с колебаниями тока накала, вследствие чего в телефоне или репродукторе слышен «фон» переменного тока. Если же нить накала достаточно толстая, то она не успевает остыть за время, пока ток накала мал (это время составляет меньше четверти периода) и температура нити остается достаточно постоянной. Поэтому для питания накала переменным током применяют лампы с более толстыми нитями.

Но эта мера все же не устраняет полностью фона переменного тока и вот почему. Как мы видели, в случае питания накала постоянным током присоединение цепи сетки к тому или другому концу нити накала фактически означает задание определенного напряжения на сетку лампы. Это напряжение создается за счет падения напряжения, существующего вдоль нити. Но если нить питается переменным током, то падение напряжения вдоль нити все время периодически изменяет свою величину и сетка, присоединенная к одному из концов нити, оказывается под переменным напряжением по отношению к остальным точкам нити. Это приводит к тому, что сила анодного тока меняется вместе с изменениями напряжения, питающего накал ламп, и в телефоне или репродукторе появляется фон переменного тока. Для устранения этой причины фона конец цепи сетки присоединяют не к одному из концов нити, а к так называемой «средней точке», находящейся под тем же напряжением, как и середина нити накала. Получить эту среднюю точку можно при помощи потенциометра *П*, включенного параллельно нити накала (фиг. 106). Середина потенциометра (точка *О*) и может служить средней точкой. По отношению к этой средней точке обе части нити находятся под напряжениями противоположного знака: в течение одного полупериода переменного тока левая половина находится под положительным напряжением относительно средней точки, а правая — под отрицательным.

а в течение другого полупериода — наоборот. Так как эти напряжения всегда противоположны, то их влияние на силу анодного тока компенсируется. В качестве средней точки мо-



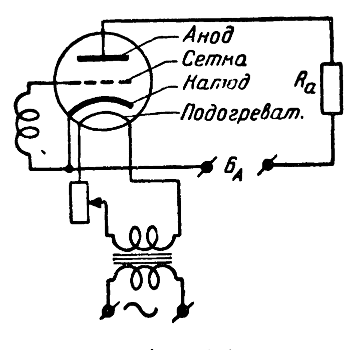
Фиг. 106. Фиг. 107.

жет служить не только середина потенциометра *П*, как на фиг. 106, но и середина обмотки трансформатора накала, т е. точка *0* на фиг. 107. Поэтому в трансформаторах накала обычно делается вывод от середины обмотки накала.

48. ПОДОГРЕВНЫЕ ЛАМПЫ

Рассмотренный нами способ питания накала ламп переменным током хотя и ослабляет фон переменного тока, но не устраняет его совершенно. Дело в том, что, во-первых, при изменениях силы тока накала нить все же успевает немного остыть, поэтому немного пульсирует и температура нити, а вместе с ней и сила анодного тока. Кроме того, изменения напряжения на двух половинах нити относительно средней точки никогда не компенсируют друг друга полностью и эти изменения все же сказываются на анодном токе. Кардинальным решением вопроса питания накала переменным током является поэтому только применение специальных ламп, устроенных следующим образом. Источником, испускающим электроны, т. е. катодом лампы, является не нить накала, а специальный цилиндрик, покрытый активирующим слоем (оксидами). Внутри цилиндрика находится подогреватель — спираль или стерженек, изолированный от катода и накаливаемый током. Этот подогреватель нагревает катод, который и испускает электроны. Таким образом, переменный

ток накала вовсе не попадает на катод и все точки катода находятся под одним и тем же напряжением. В этом случае не получается никакого падения напряжения вдоль катода, которое получается в случае непосредственного накаливания нити (катода) током. Поэтому такие не прямо, а косвенно подогреваемые катоды часто называют **эквипотенциальными катодами**, т. е. катодами равного потенциала. Ясно, что в подогревных лампах отсутствует вторая из причин, вызывающих появление фона переменного тока, — изменение распределения напряжения вдоль катода. Вместе с тем отпадает и первая причина фона — подогреватель вместе с катодом представляет собой гораздо более массивную конструкцию, чем тонкая нить накала, и вся эта конструкция за четверть периода тока накала совсем не успевает остыть.



Фиг. 108.

Применение в лампах косвенного подогрева представляет и другие существенные преимущества. Прежде всего крутизна характеристики лампы может быть сделана тем больше, чем больше поверхность катода. Так как в подогревных лампах поверхность катода гораздо больше, чем поверхность нити у обычных ламп, то подогревные лампы обычно имеют гораздо большую, чем лампы с прямым накалом, крутизну характеристики и обладают лучшими усилительными свойствами.

В отношении принципа управления анодным током и областей применения подогревные лампы ничем не отличаются от обычных ламп с непосредственным накалом. Все различие заключается лишь в схеме включения цепи накала. Так как катод и цепь накала в подогревных лампах разделены, то концы цепей сетки и анода присоединяются не к цепи накала, а к катоду. Цепь же накала вообще может быть не соединена с остальной схемой. В нее включается лишь реостат накала. Включение подогревной лампы в схему изображено на фиг. 108.

Вторым преимуществом подогревных ламп является механическая жесткость их катодов. В лампах прямого накала нить приходится делать очень тонкой, чтобы она потребляла

малый ток. Но такая тонкая нить не может быть натянута очень сильно, да и к тому же при накаливании она удлиняется и ее натяжение уменьшается. Поэтому при механических толчках нить колеблется с каким-то определенным периодом, который зависит от ее размеров, массы и натяжения. В большинстве случаев эти собственные периоды механических колебаний лежат в пределах звуковых частот. Но свойства лампы и величина ее отдельных параметров зависят от расположения электродов и расстояния между ними. При колебаниях нити, возникающих вследствие сотрясений и толчков, очевидно, изменяются периодически и параметры лампы, а вместе с тем колеблется и сила тока в анодной цепи. Поэтому при различных механических толчках в телефоне или репродукторе, включенном в анодную цепь лампы, бывает слышен характерный звон, являющийся следствием тех периодических изменений силы анодного тока, которые вызваны механическими колебаниями электродов лампы. Эта чувствительность ламп к механическим толчкам и способность превращать механические колебания в электрические называются микрофонным эффектом.

В подогревных лампах, где катодом служит не тонкая нить, а жестко закрепленный цилиндрик, микрофонный эффект отсутствует. Правда, причиной микрофонного эффекта может быть недостаточная жесткость и других электродов (сеток и анода), механические колебания которых так же влияют на величину анодного тока. Но эту причину обычно удается устранить, придав всем электродам достаточную жесткость. Поэтому, как правило, подогревные лампы дают гораздо меньший микрофонный эффект, чем лампы с прямым накалом. В случае же ламп с прямым накалом для ослабления влияния механических толчков приходится применять специальную амортизацию всего приемника или некоторых отдельных ламп.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ
УСИЛИТЕЛИ

49. УСИЛИТЕЛИ НА СОПРОТИВЛЕНИЯХ

Выше были рассмотрены общие принципы работы трехэлектродной усилительной лампы. Однако, осуществляется этот общий принцип по разному в зависимости от характера усиливаемых колебаний, требований, предъявляемых к уси-

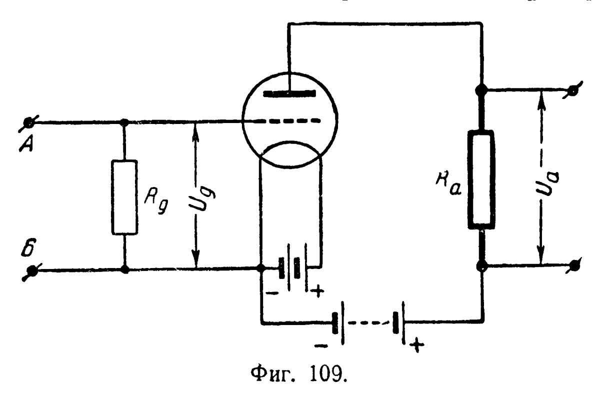
лителю или всему приемнику в целом, и т. д. Так как к тому же обычно в приемнике усиление осуществляется не одной лампой, а несколькими каскадами (ступенями), то схемы усилителей, с которыми приходится встречаться радиолюбителю, оказываются весьма разнообразными. Но всякий усилитель состоит из комбинации нескольких типов усилительных каскадов.

Зная устройство и принцип действия этих отдельных каскадов и способы их соединения между собой, нетрудно разобраться в схеме и работе скомбинированного из них усилителя. Поэтому мы опишем устройство и работу только этих основных типов усилительных каскадов.

Мы будем рассматривать усилители с трехэлектродными лампами, хотя сейчас для целей усиления применяются преимущественно, а в некоторых случаях (например, для усиления высокой частоты) исключительно, многоэлектродные лампы. Но самый принцип работы того или иного усилительного каскада наиболее просто может быть выяснен при рассмотрении схемы с трехэлектродной лампой. Вместе с тем при этом рассмотрении выяснятся и те недостатки трехэлектродной лампы, которые в каждом отдельном случае препятствуют получению наибольшего эффекта. Отсюда станет ясным, какие преимущества в каждом случае дает та или иная из многоэлектродных ламп, устройство и свойства которых будут описаны позже. Поэтому после того, как будут рассмотрены схемы с трехэлектродными лампами, нам не придется снова рассматривать схемы с многоэлектродными лампами, так как принцип действия этих последних схем станет ясен сам собой.

Наиболее простым как по схеме, так и по принципу действия типом усилителя является усилитель на сопротивлениях. Поэтому мы в первую очередь и рассматриваем усиление на сопротивлениях. Вместе с тем на примере усилителя на сопротивлениях наиболее ясно выступают некоторые общие черты всех типов усилителей. Схема одного каскада усиления на сопротивлениях приведена на фиг. 109. Рассмотрим принцип действия этой схемы. К точкам *А* и *Б* усилителя подводятся переменные напряжения, которые подлежат усилению. Обычно между точками *А* и *Б* бывает включено сеточное сопротивление R_g. Под действием подводимых напряжений в этом сопротивлении возникает переменный ток, который создает переменное падение напряжения на его концах. Это напряжение U_g действует на сетку усилительной лампы и, следова-

тельно, изменяет силу анодного тока в лампе. В анодную цепь лампы также включено сопротивление — анодное сопротивление R_a. Пока анодный ток имеет постоянную величину, он создает на концах сопротивления R_a некоторое постоянное падение напряжения. Но если под действием переменного напряжения U_g анодный ток изменяет свою величину, то вместе с тем будет изменяться и падение напряжения на концах сопротивления R_a. Кроме некоторого постоянного падения напряжения мы получим на сопротивлении R_a переменное

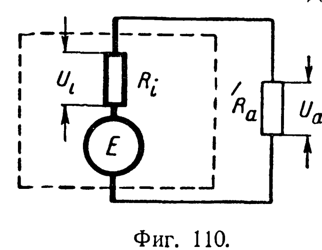


Фиг. 109.

напряжение U_a, изменяющееся по тому же закону, как и подводимое к сетке напряжение U_g. Как мы уже указывали при рассмотрении основных свойств электронной лампы, это переменное напряжение U_a, получаемое на зажимах анодного сопротивления, может быть больше, чем напряжение U_g, подводимое к сетке лампы, тогда лампа будет усиливать подводимые к ней переменные напряжения. Отношение напряжения U_a к напряжению U_g, показывающее, во сколько раз усиливаются подводимые напряжения, называется коэффициентом усиления каскада.

Выясним, отчего зависит величина коэффициента усиления, даваемая одним каскадом усилителя. Чтобы рассмотреть этот вопрос, мы заменим нашу схему усилителя так называемой эквивалентной схемой, в которой лампа, обладающая определенным внутренним сопротивлением, заменена условным источником напряжения, дающим э. д. с. E и имеющим то же внутреннее сопротивление R_i, как и электронная лампа. Это сопротивление R_i нужно считать включенным последовательно с источником э. д. с. (фиг. 110). Рассмотрение этой схемы

позволит нам установить, как напряжение U_a, получающееся на сопротивлении R_a, зависит от величины этого сопротивления и величины внутреннего сопротивления источника R_i. Если в какой-либо цепи проходит ток, то падение напряжения будет происходить как внутри самого источника тока, так и во внешней цепи его. Вследствие этого э. д. с. E, даваемая источником, будет частью расходоваться на внутреннем сопротивлении R_i, а частью на внешнем сопротивлении R_a. Общее же падение напряжения во всей цепи будет как раз равно э. д. с., даваемой источником. Если падение напряжения на внутреннем сопротивлении равно U_i, а на внешнем U_a, то очевидно, что $E = U_i + U_a$. Но, как мы знаем, падение напряжения на каком-либо участке цепи пропорционально сопротивлению этого участка. Следовательно, распределение падения напряжения между сопротивлениями R_a и R_i зависит от отношения между этими сопротивлениями. Если одно из сопротивлений гораздо больше другого, то и падение напряжения на этом сопротивлении будет гораздо больше. Следовательно, если внешнее сопротивление R_a очень велико по сравнению с внутренним сопротивлением источника R_i, то практически можно считать, что все падение напряжения в цепи приходится только на внешнее сопротивление, т. е. на внешнем сопротивлении выделяется полностью переменное напряжение U_a, равное э. д. с. E источника.



Фиг. 110.

Приложим теперь эти выводы к одноламповому усилителю на сопротивлениях. Чтобы при данной величине подводимого к сетке напряжения U_g получить на зажимах внешнего сопротивления R_a возможно большее переменное напряжение требуется, чтобы внешнее сопротивление R_a было гораздо больше внутреннего сопротивления лампы R_i. Чем больш будет R_a по сравнению с R_i, тем больше будет коэффициен усиления, даваемый одним каскадом. Однако, при увеличени анодного сопротивления R_a напряжение, выделяемое на этом сопротивлении лампой, т. е. напряжение U_a, не будет раст беспредельно. Ведь напряжение, приходящееся на внешню цепь, ни при каких условиях не может стать больше э. д. с. E источника (фиг. 110). В лучшем случае, когда R_a велико по сравнению с R_i, практически можно считать, что вся э. д. с. источника полностью выделяется на внешнем сопротивлении R_a.

Нетрудно подсчитать, какое усиление будет давать каскад в том случае, когда R_a гораздо больше R_i. Если в цепь включены последовательно два сопротивления — большое и малое, то при изменении малого сопротивления сила тока будет мало меняться, так как она определяется величиной большого сопротивления. Поэтому сила анодного тока при изменении напряжения на сетке лампы меняется очень незначительно, так как сила тока определяется, главным образом, величиной большого анодного сопротивления R_a. Это может происходить только в том случае, если одновременно с изменением напряжения на сетке происходит соответствующее изменение напряжения на аноде в противоположном направлении. Чтобы сила анодного тока почти не изменялась, анодное напряжение должно изменяться приблизительно в μ раз сильнее, чем напряжение на сетке (μ — усилительная постоянная лампы), и притом так, что положительное напряжение на сетке вызывает уменьшение напряжения на аноде и, наоборот, отрицательное напряжение на сетке вызывает увеличение напряжения на аноде. В действительности оно так и происходит. При увеличении напряжения на сетке сила анодного тока немного возрастает. Падение напряжения на сопротивлении R_a увеличивается и притом на значительную величину (так как R_a велико). Но если возрастает падение напряжения на сопротивлении R_a, то напряжение на аноде уменьшается. При уменьшении напряжения на сетке анодный ток уменьшается, падение напряжения в анодном сопротивлении также уменьшается и напряжение на аноде возрастает. Работа усилительного каскада при больших анодных сопротивлениях протекает, следовательно, таким образом. Подводимые к сетке напряжения слегка изменяют силу анодного тока. Однако так как анодное сопротивление R_a очень велико, то эти небольшие изменения силы тока создают на анодном сопротивлении большие переменные напряжения, примерно в μ раз больше подведенных сеточных напряжений. Так как изменения напряжения на аноде противоположны изменениям напряжений на сетке, то они почти компенсируют друг друга и поэтому сила анодного тока почти не меняется.

Таким образом, мы приходим к следующим результатам. При увеличении анодного сопротивления R_a коэффициент усиления, даваемый каскадом, сначала растет быстро, а дальше, когда анодное сопротивление R_a уже значительно больше внутреннего сопротивления R_i, коэффициент усиления возрастает все медленнее и медленнее и стремится к пределу, кото-

рый равен усилительной постоянной лампы. При анодном сопротивлении, например, в 10 раз превышающем внутреннее сопротивление лампы, практически уже можно считать коэффициент усиления равным усилительной постоянной лампы, и, следовательно, дальнейшее увеличение анодного сопротивления будет уже нецелесообразно. Так как трехэлектродные лампы имеют внутреннее сопротивление порядка нескольких десятков тысяч ом, то при анодных сопротивлениях порядка одной — двух сотен тысяч ом мы получим от лампы все то усиление, которое она может дать в схеме усиления на сопротивлениях и которое равно усилительной постоянной лампы. Поэтому в усилителях на сопротивлениях в большинстве случаев применяются анодные сопротивления порядка сотен тысяч ом. При этом выгодно применять лампы с большой усилительной постоянной, так как тогда можно получить и больший коэффициент усиления от одного каскада. Однако по причинам, которые ниже будут указаны, даже при больших анодных сопротивлениях обычно не удается получить усиление, близкое к усилительной постоянной лампы, а иногда по тем же причинам применение больших анодных сопротивлений вообще становится невыгодным.

Если применять небольшие анодные сопротивления, меньшие, чем внутреннее сопротивление лампы, то усиление каскада зависит, главным образом, уже не от усилительной постоянной лампы, а от крутизны ее характеристики. В этом можно убедиться при помощи следующих рассуждений. Если R_a мало, то и падение напряжения в нем мало, и следовательно, напряжение на аноде при изменениях силы анодного тока почти не меняется. Поэтому сила анодного тока изменяется только в зависимости от изменений напряжения на сетке. Изменение силы анодного тока мы получим в этом случае, умножая подведенное к сетке напряжение U_g на крутизну характеристики S. Следовательно, изменение силы анодного тока $\triangle I_a = SU_g$. Тогда изменение напряжения на анодном сопротивлении выразится так: $\triangle U_a = R_a S U_g$. Отсюда видно, что переменное напряжение на аноде $\triangle U_a$ в $(R_a \cdot S)$ раз больше напряжения на сетке, т. е. коэффициент усиления каскада равен $R_a S$. Следовательно, в случае, когда сопротивление анодной нагрузки много меньше внутреннего сопротивления лампы, чем больше крутизна характеристики лампы, тем больше усиление, даваемое каскадом.

Наши выводы, касающиеся двух крайних случаев,— первого, когда R_a гораздо больше, чем R_i, и второго, когда R_a

гораздо меньше, чем R_i,— хотя и сделаны для усилителей на сопротивлениях, но носят более общий характер. Всегда, когда сопротивление анодной нагрузки гораздо больше внутреннего сопротивления лампы, усиление каскада определяется, главным образом, усилительной постоянной лампы. Когда же сопротивление анодной нагрузки много меньше внутреннего сопротивления лампы, существенную роль играет крутизна характеристики — ею, главным образом, определяется усиление каскада. В промежуточных случаях, когда анодное сопротивление и внутреннее сопротивление лампы — величины одного порядка (а эти случаи очень часто встречаются на практике), коэффициент усиления каскада зависит как от усилительной постоянной лампы, так и от крутизны ее характеристики. Усиление, даваемое каскадом, в этом случае зависит от произведения обоих параметров, т. е. величины $S\mu$. Эта величина, получившая название д о б р о т н о с т и лампы, обозначается обычно буквой G, т. е. $G=S\mu$. Зная крутизну характеристики лампы и ее усилительную постоянную, всегда можно подсчитать добротность лампы. Чем больше добротность лампы, тем большее усиление может она дать в тех случаях, когда анодное сопротивление R_a и внутреннее сопротивление R_i — величины одинакового порядка. А эти случаи часто бывает выгодно осуществлять на практике. Поэтому добротность лампы является важной характеристикой усилительных свойств лампы. Чем больше добротность лампы, тем лучше ее усилительные свойства.

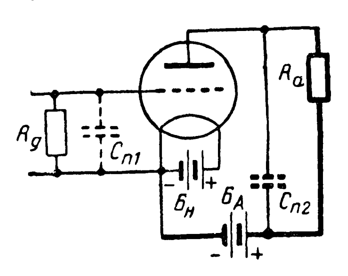
Для получения большого усиления нужно применять в анодной цепи сопротивления R_a, во много раз превышающие внутреннее сопротивление лампы R_i, однако практически это не всегда возможно. Дело в том, что при больших значениях R_a на этом сопротивлении падает часть напряжения, питающего анод лампы, ибо это сопротивление включено последовательно с источником питания (фиг. 109). Если сопротивление R_a во много раз больше R_i, то и падение напряжения на R_a будет во много раз больше, чем на самой лампе. При этом для создания на аноде нормального напряжения пришлось бы увеличить в соответствующее число раз напряжение источника питания, а это обычно затруднительно. Поэтому часто приходится применять сопротивления R_a того же порядка, что и R_i.

50 УСИЛЕНИЕ ВЫСОКОЙ И НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Рассмотренная нами схема усиления на сопротивлениях принципиально в одинаковой степени может быть применена для усиления колебаний как высокой, так и низкой частоты. Однако, практически этот усилитель будет себя вести совершенно по-разному, в зависимости от того, усиливает ли он высокую или низкую частоту. Причина этого кроется в следующем. Мы полагали, что как сами лампы, так и внешние сопротивления являются действительно только сопротивлениями. Между тем всякие проводники обладают также и некоторой емкостью. Так, например, если сопротивление имеет вид трубочки, зажатой между какими-либо двумя зажимами, то между этими зажимами будет существовать также и некоторая взаимная емкость, которая включена как бы параллельно сопротивлению. К этой емкости прибавится еще и та емкость, которой обладают проводники, присоединяющие зажимы к соответствующим местам схемы. Следовательно, строго говоря, мы не имеем права считать, что в нашей схеме есть одни только сопротивления. Нужно иметь в виду эти небольшие паразитные емкости, которые «включены» как между анодом и катодом, так и между сеткой и катодом. На фиг. 111 эти паразитные емкости C_{n1} и C_{n2} указаны пунктиром. Если принять это во внимание, то станет совершенно ясным, что усилитель на сопротивлениях может вести себя по-разному в случаях усиления низкой и высокой частоты. Ведь для переменного тока емкость представляет некоторое емкостное сопротивление и тем меньшее, чем больше частота переменного тока. Поэтому мы должны при расчетах принимать во внимание величину сопротивления такой цепи, которая состоит из сопротивления с включенной параллельно емкостью или, как говорят, зашунтированного емкостью. Как известно, при параллельном включении двух проводников общее сопротивление всей цепи будет во всяком случае меньше, чем величина меньшего из двух включенных параллельно сопротивлений. И если паразитные емкости, которыми зашунтированы сопротивления, представляют для данной частоты сопротивление гораздо большее, чем величина омического сопротивления, то все наши прежние рассуждения останутся в силе. Если же для данной частоты емкостное сопротивление паразитных емкостей окажется того же порядка или даже меньше, чем омическое сопротивление, то мы не сможем в анодной цепи лампы выделить достаточно большого напряжения.

Чем выше частота усиливаемого тока, тем больше опасность, что паразитные емкости будут давать емкостное сопротивление меньшее, чем омическое сопротивление R. Для токов низкой частоты эта опасность возникает только на самых высоких звуковых частотах. В случае же токов высокой частоты паразитные емкости всегда обладают сравнительно малым емкостным сопротивлением и это обстоятельство, в сущности, ограничивает возможность применения усилителей на сопротивлениях для усиления высоких частот.

Действительно, даже при самом тщательном выполнении монтажа (в смысле уменьшения паразитных емкостей) все же нельзя избежать паразитных емкостей порядка нескольких сантиметров. Для токов низкой частоты, например в 1 500 *гц*, емкость в несколько сантиметров дает емкостное сопротивление порядка сотен миллионов ом. Для токов же высокой частоты, например, для начальной волны радиовещательного диапазона (частота 1 500 000 *гц*), это емкостное сопротивление будет составлять только несколько сот тысяч ом, т. е. будет уже одного порядка или даже меньше тех анодных сопротивлений, которые следовало бы применить для получения наибольшего усиления. Если же паразитные емкости составляют не несколько сантиметров, а несколько десятков сантиметров (в обычных схемах это часто так и бывает), то емкостное сопротивление паразитных емкостей падает уже до нескольких десятков тысяч ом. А это значит, что из-за паразитной емкости $C_{п2}$ (фиг. 111) общее сопротивление анодной нагрузки даже при большом R_a будет составлять те же десятки тысяч ом, т. е. будет не велико по сравнению с внутренним сопротивлением лампы, и получить большого усиления не удастся. Заметим, кстати, что вредную роль играют и паразитные емкости между сеткой и катодом $C_{п1}$ (фиг. 111). Принципиально их вредная роль та же, что и паразитных емкостей в цепи анода — уменьшение общего сопротивления между сеткой и катодом — входного сопротивления лампы. Почему это уменьшение входного сопротивления особенно вредно сказывается на усилителе, будет выяснено в дальнейшем.

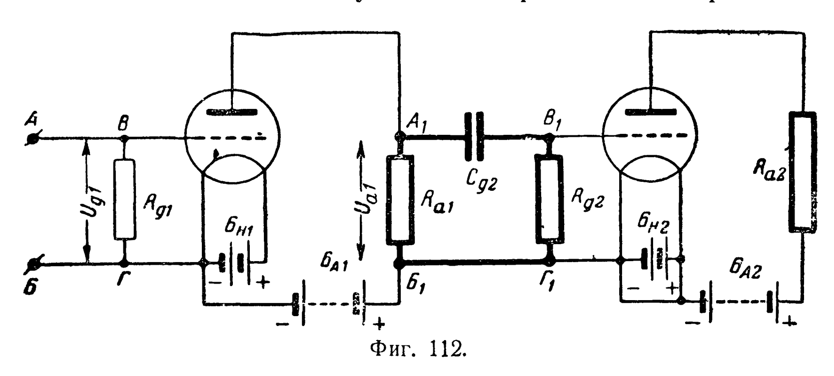


Фиг. 111.

В силу указанных причин усиление высокой частоты при помощи усилителя на сопротивлениях является невыгодным и практически не применяется. Для усиления же низкой частоты применение усилителя на сопротивлениях вполне целесообразно. Усилители низкой частоты на сопротивлениях широко применяются в радиолюбительской практике, во-первых, вследствие своей дешевизны и простоты, а во-вторых, вследствие того, что они дают наиболее чистое и неискаженное усиление. К вопросу о том, какими причинами обуславливаются искажения в усилителях и почему усилители на сопротивлениях от этих искажений свободны (или, вернее, почти свободны), мы еще вернемся.

51. ДВУХКАСКАДНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ НА СОПРОТИВЛЕНИЯХ

Для того, чтобы выяснить вопрос о способах связи отдельных каскадов усиления между собой, мы рассмотрим схему двухкаскадного усилителя на сопротивлениях. «Теоретическая» схема этого усилителя приведена на фиг. 112.



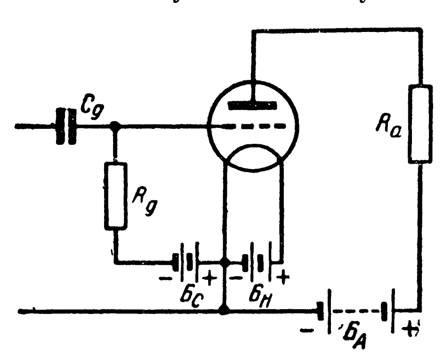
Фиг. 112.

Как и в однокаскадном, в этом усилителе подлежащее усилению переменное напряжение подводится к точкам $А$ и $Б$ и сопротивление R_{g1} оказывается включенным последовательно в цепь переменного тока, вследствие чего на его зажимах получается переменное напряжение U_{g1}. Это напряжение усиливается первой лампой и на зажимах анодного сопротивления этой лампы R_{a1} получается усиленное переменное напряжение U_{a1}. Если это усиленное переменное напряжение все же оказывается недостаточным, то его можно снова усилить при помощи второй лампы (второго каскада усиления). Для этого его

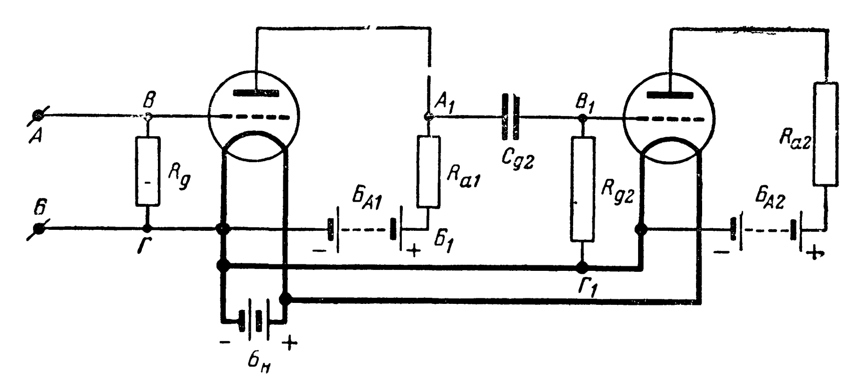
нужно подвести к сетке второй лампы так же, как напряжение U_{g1} было подведено к сетке первой лампы. Однако, сделать это нужно с некоторыми предосторожностями. Дело в том, что кроме переменного напряжения, в анодной цепи первой лампы существует также постоянное и обычно довольно значительное падение напряжения, создаваемое постоянным анодным током (постоянной слагающей анодного тока). Если это постоянное напряжение попадет на сетку второй лампы, то оно изменит режим работы лампы, сместит рабочую точку характеристики, и это может нарушить нормальные условия работы лампы. Поэтому подавать постоянное напряжение из анодной цепи первой лампы на сетку второй нельзя. Необходимо отделить постоянное напряжение от переменного, и только это последнее подать на сетку второй лампы. Чтобы преградить путь постоянному напряжению, достаточно присоединить концы анодного сопротивления R_a к сетке второй лампы не непосредственно, а через конденсатор C_{g2}. Так как конденсатор не пропускает постоянного тока, а пропускает только переменный, то на сетку второй лампы будут попадать только изменения напряжения на сопротивлении R_{a1}, т. е. как раз те усиленные переменные напряжения, которые получаются в первом каскаде усилителя. Следовательно, назначение конденсатора C_{g2} — преграждать путь постоянному напряжению из цепи анода первой лампы к сетке второй лампы. Но включение в схему этого конденсатора вызывает необходимость включения в схему еще одного элемента — сопротивления R_{g2}. Роль этого нового элемента схемы такова. Если в цепь сетки включен конденсатор, то электроны, попадающие на сетку с нити, не имеют выхода с сетки, так как конденсатор пропускает переменный ток, но не пропускает электронов, движущихся все время в одном направлении (вне лампы от сетки к катоду), так как это движение электронов в одном направлении представляет собой постоянный ток. Все попавшие на сетку электроны будут скопляться на конденсаторе, постепенно увеличивая его отрицательный заряд. В конце концов отрицательное напряжение на сетке возрастет настолько, что анодный ток вовсе прекратится и лампа перестанет работать — она окажется «запертой». Чтобы этого не случилось нужно открыть электронам путь, по которому они могли бы с сетки снова возвращаться к нити. Этот путь и образует сопротивление R_{g2}; по этому сопротивлению электроны возвращаются снова к катоду. Таким образом, сопротивление R_{g2} открывает путь для утечки электронов,

попадающих на сетку. Поэтому его называют **утечкой сетки** (по-английски «грид-лик»). В тех случаях, когда на сетку нужно подать отрицательное смещение, оно также подается через утечку (например, так, как указано на фиг. 113), так как через конденсатор C_{g2} подать постоянное напряжение смещения было бы невозможно.

Схему, приведенную на фиг. 112, мы назвали «теоретической» потому, что она удобна только для выяснения принципа действия двухкаскадного усилителя, а не для практического применения. Дело в том, что в схеме фиг. 112 для каждой лампы применяются специальные батареи как накала, так и анодная. Это, конечно, удорожает стоимость комплекта источников питания и эксплоатацию приемника. Между тем, немного видоизменив схему, можно обойтись одним комплектом батарей для питания двух (и большего числа) ламп. Прежде всего можно включить параллельно обе нити накала и присоединить их к общей батарее накала (фиг. 114). Но тем самым точка $Г_1$ окажется присоединенной к точке $Г$. После этого уже нельзя соединять точку $Б_1$ с точкой $Г_1$, как это сделано на фиг. 112, так как тем самым замкнулась бы накоротко батарея $Б_{a1}$. Но в соединении между собой точек $Г_1$ и $Б_1$ теперь уже и нет надобности, так как к сетке второй лампы подводятся напряжения от точек $А_1$ и $Г_1$. А **переменные** напряжения между точками $А_1$ и $Г_1$ те же, что и между $А_1$ и $Б_1$. Напряжение в точке $Г_1$ отличается от напряжения в точке $Б_1$ только на постоянную величину, равную напряжению анодной батареи $Б_{a1}$. Но постоянные напряжения на сетку второй лампы все равно не попадают. Поэтому, соединяя нити ламп параллельно, мы делаем ненужным специальное соединение точек $Г_1$ и $Б_1$, и в схеме фиг. 114 это соединение отсутствует. Так же можно объединить и анодные батареи; для этого достаточно присоединить конец сопротивления R_{a2} не к специальной батарее $Б_{a2}$, а к той же батарее $Б_a$, которая питает анод первой лампы. В конечном счете мы получаем схему,



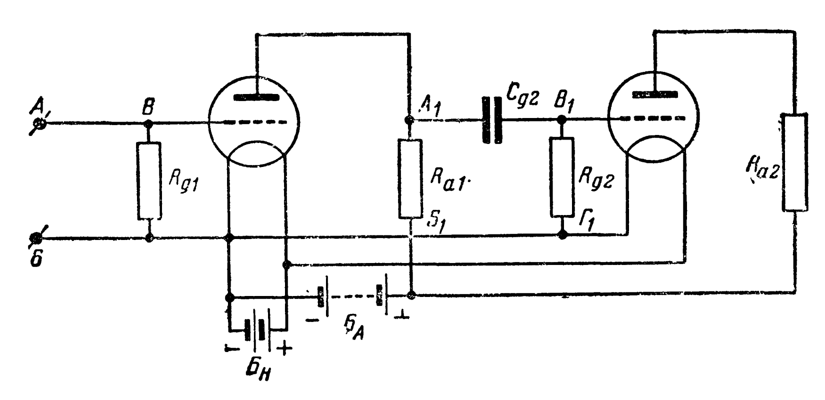
Фиг. 113.



Фиг. 114.

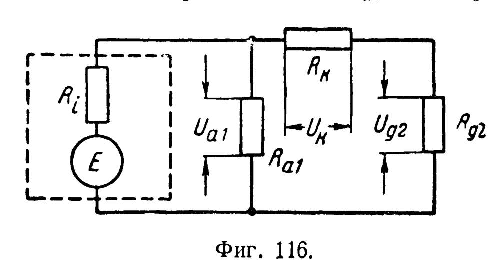
приведенную на фиг. 115, которая и представляет собой практическую схему двухкаскадного усилителя на сопротивлениях.

Нам остается выяснить, какое усиление может дать этот усилитель и как величина этого усиления зависит от величины сопротивлений и емкостей, входящих в схему. Что касается анодных сопротивлений R_{a1} и R_{a2}, то о них можно повторить все то, что было сказано относительно анодного сопротивления в одноламповом усилителе, так как условия работы лампы и роль анодного сопротивления в этих двух случаях совершенно одинаковы. Чтобы получить возможно больший коэффициент усиления в каждом из каскадов, нужно,



Фиг. 115

чтобы анодные сопротивления были велики по сравнению с внутренним сопротивлением лампы. Посмотрим теперь, как влияют на работу схемы величины емкости переходного (междулампового) конденсатора C_{g2} и утечки сетки второй лампы R_{g2}. Чтобы выяснить этот вопрос, мы снова воспользуемся эквивалентной схемой, но несколько иного вида (фиг. 116). Лампу мы попрежнему заменим некоторым условным источником э. д. с. E, обладающим внутренним сопротивлением R_i. Но теперь уже этот источник будет включен на две цепи, соединенные параллельно. Первая из этих двух цепей—это анодное сопротивление R_{a1}, а вторая — это конденсатор C_{g2} и сопротивление R_{g2}, включенные последовательно. Емкость C_{g2} мы заменим в нашей эквивалентной схеме некоторым эквивалентным сопротивлением R_k. Теперь мы легко выясним, какое влияние на работу схемы будут оказывать R_{g2} и C_{g2} в нашей схеме. Падение напряжения ведь будет одинаково в обеих параллельных ветвях цепи. Значит, то напряжение U_{a1}, которое приходится на сопротивление R_{a1}, во второй цепи разделится на две части: U_k — падение напряжения на C_{g2} (т. е. на емкости) и U_{g2} — падение напряжения на R_{g2} (это именно то напряжение, которое попадает на сетку второй лампы). И чем меньше будет U_k, тем больше будет U_{g2}. А наша задача к тому и сводится, чтобы напряжение, попадающее на сетку второй лампы, т. е. U_{g2}, было возможно больше. Поэтому нужно стремиться к тому, чтобы U_k было бы очень мало по сравнению с U_{g2}. Но R_k — емкостное сопротивление конденсатора C_{g2} переменному току — будет тем меньше, чем больше емкость, т. е. емкость C_{g2} должна быть достаточно велика. Кроме этого условия необходимо соблюдать еще одно, а именно: общее сопротивление всей цепи (анодной нагрузки) должно быть попрежнему велико по сравнению с R_i (чтобы U_{a1} было велико). А для того, чтобы общее сопротивление всей цепи не уменьшилось от присоединения участка $R_k - R_{g2}$, нужно, чтобы полное сопротивление этого участка было велико по сравнению с R_i. Так как R_k должно быть мало по сравнению с R_{g2}, то, значит, второе требование



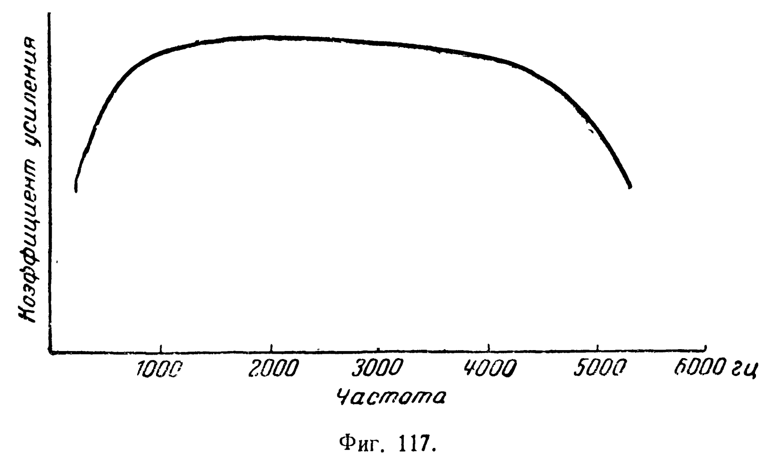
Фиг. 116.

сводится к тому, чтобы R_{g2} было значительно больше, чем R_i. Таким образом, условия для получения наибольшего усиления в разобранной нами схеме сводятся к следующему. R_{a1} и R_{g2} должны быть велики по сравнению с внутренним сопротивлением лампы R_i; R_{g2} должно быть значительно больше R_{a1} и, наконец, емкость конденсатора C_{g2} должна быть достаточно велика, чтобы емкостное сопротивление этого конденсатора переменному току было гораздо меньше, чем R_{g2}. Следовательно, чем ниже частота усиливаемого тока, тем больше должна быть емкость C_{g2}. Поэтому в усилителях низкой частоты эти конденсаторы, называемые **переходными емкостями**, должны иметь емкость в сотни тысяч сантиметров, а иногда даже в несколько микрофарад. В усилителях же высокой частоты достаточны переходные емкости в тысячи, а иногда даже в сотни сантиметров. При соблюдении указанных выше условий каждый каскад будет давать усиление, близкое к усилительной постоянной лампы, а два каскада — усиление, приближающееся к произведению усилительных постоянных обеих ламп. Если бы усиление, даваемое двухкаскадным усилителем, оказалось недостаточным, то можно было бы применить еще третий каскад усиления. Однако, принцип действия и схема трехкаскадного (и вообще многокаскадного) усилителя на сопротивлениях принципиально ничем не отличаются от двухкаскадного. Поэтому многокаскадных усилителей мы рассматривать не будем.

Вернемся теперь к вопросу о роли паразитных емкостей. Так как между точками B_1 и Γ_1 (фиг. 115) существует паразитная емкость (она образована не только емкостью проводов схемы, но и емкостью вводов лампы и емкостью между самими электродами — сеткой и катодом), то полное сопротивление между точками B_1 и Γ_1 всегда будет меньше, чем R_{g2}. Между тем, как мы убедились, R_{g2} должно быть достаточно велико. Таким образом наличие паразитных емкостей приводит к тому, что на высоких частотах невозможно соблюсти требование о большой величине сопротивления между сеткой и катодом, которое должно быть выполнено для получения большого усиления. Малое входное сопротивление лампы является одной из основных причин падения усиления на высоких частотах не только в усилителях на сопротивлениях, но и во всех других типах усилителей.

52. ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УСИЛИТЕЛЯ

Всякий усилитель низкой частоты предназначен для усиления не какой-нибудь определенной частоты, а всех частот, лежащих в пределах звуковых колебаний. Поэтому, изучая качества усилителя, необходимо не только определить, какое усиление он может дать при определенной частоте, но выяснить также, как величина этого усиления зависит от частоты усиливаемых колебаний. Если мы будем подводить к усилителю напряжения вполне определенной амплитуды, но раз-



Фиг. 117.

ной частоты, и одновременно измерять те напряжения, которые дает усилитель на выходе, то мы сможем определить коэффициент усиления, даваемый данным усилителем при той или другой частоте усиливаемых колебаний. Результаты этих измерений можно изобразить графически, откладывая по горизонтальной оси частоты усиливаемых колебаний, а по вертикальной — усиление, которое на этой частоте дает усилитель. Мы получим так называемую частотную характеристику усилителя, по которой можно будет судить о поведении усилителя при разных частотах. Пример подобной частотной характеристики усилителя низкой частоты приведен на фиг. 117.

От усилителя, предназначенного для усиления различных частот, обычно требуется, чтобы он одинаково или примерно одинаково усиливал все эти частоты. Это значит, что частотная характеристика хорошего усилителя должна иметь вид

прямой или почти прямой горизонтальной линии. В противном случае усилитель будет работать неудовлетворительно. В случае усиления низкой частоты непрямолинейность частотной характеристики приводит к тому, что разные звуки усиливаются по-разному, т. е. усилитель искажает передачу. Искажения, получающиеся вследствие того, что разные частоты усиливаются в разной степени, носят название **частотных искажений**. Следовательно, усилитель низкой частоты с непрямолинейной частотной характеристикой вносит в передачу частотные искажения.

Конечно, нельзя построить усилитель, который обладал бы абсолютно прямолинейной и горизонтальной частотной характеристикой, так как паразитные емкости между отдельными элементами схемы сказываются тем сильнее, чем больше частота усиливаемых колебаний. Если считать, что величина этих паразитных емкостей составляет несколько десятков сантиметров, то эти емкости будут представлять для средних частот звукового диапазона сравнительно большие сопротивления, порядка нескольких миллионов ом, и следовательно, они не будут сколько-нибудь заметно понижать коэффициент усиления. Однако, для наиболее высоких частот звукового диапазона эти сопротивления паразитных емкостей понижаются уже до сотен тысяч ом и, следовательно, могут оказаться равными или даже меньше применяемых обычно в усилителях анодных сопротивлений. Поэтому усилитель низкой частоты на сопротивлениях в области высоких частот имеет спадающую частотную характеристику («завал» на высоких частотах). С другой стороны, при очень низких частотах начнет сказываться то обстоятельство, что переходные емкости становятся уже заметным сопротивлением для усиливаемой частоты. А когда сопротивление переходной емкости C_{g2} становится сравнимым с сеточным сопротивлением R_{g2} (фиг. 115), усиление, даваемое усилителем, как мы убедились, падает. Поэтому на очень низких частотах усилитель на сопротивлениях дает тоже малое усиление («завал» на низких частотах). Итак, наиболее высокие и низкие тоны звукового диапазона будут усиливаться сравнительно мало, в средней же части звукового диапазона все частоты будут усиливаться примерно в одинаковой степени.

Устранение частотных искажений, которые возникают в случае неравномерного усиления различных частот в усилителе низкой частоты на сопротивлениях, достигается простыми средствами—правильным выбором величин схемы и раци-

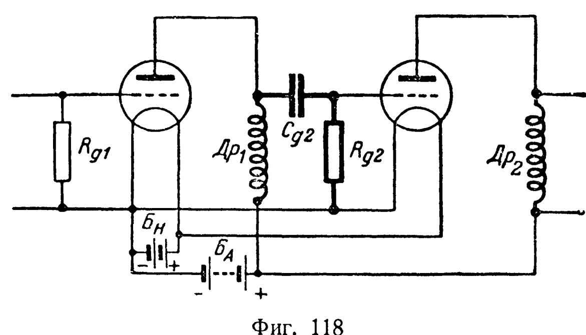
ональным ее выполнением. Во всех же других типах усилителей низкой частоты достигнуть совершенно равномерного усиления всех частот, как мы увидим в дальнейшем, чрезвычайно трудно, и поэтому, по сравнению со всеми другими усилителями, усилитель низкой частоты по праву может считаться «неискажающим усилителем». В этом заключается основное достоинство усилителя на сопротивлениях. Но усилитель на сопротивлениях обладает также одним весьма существенным недостатком. Как мы уже указывали прежде, коэффициент усиления, даваемый усилителем низкой частоты, не может быть больше, чем произведение усилительных постоянных всех примененных в нем ламп, практически же усиление бывает ниже этого. Между тем усилитель другого типа (на трансформаторах), как будет видно в дальнейшем, может давать коэффициент усиления, превышающий усилительную постоянную применяемой лампы.

53. УСИЛИТЕЛИ НА ДРОССЕЛЯХ

Роль анодного сопротивления, как мы выяснили, заключается в том, чтобы создать в анодной цепи усиленные напряжения, получающиеся вследствие изменения величины анодного тока под действием попадающих на сетку колебаний. Для выполнения этой задачи анодное сопротивление не обязательно должно быть омическим сопротивлением. Так как в цепи анода необходимо выделить переменные напряжения, то для этой цели можно пользоваться любым проводником, оказывающим сопротивление переменному току. В частности, это может быть катушка с большой индуктивностью — дроссель. При изменении силы тока в анодной цепи, в которую включена катушка с большой индуктивностью, на концах катушки будет получаться э. д. с. самоиндукции, которая может быть использована так же, как и падение напряжения на анодном сопротивлении в усилителе на сопротивлениях, например, для дальнейшего усиления. В этом случае мы приходим к схеме усилителя на дросселях, приведенной на фиг. 118. Ясно, что принцип действия этой схемы совершенно аналогичен принципу действия усилителя на сопротивлениях. Вся разница будет заключаться только в том, что на зажимах дросселя $Др_1$ (если считать, что он не обладает омическим сопротивлением) будут получаться только переменные напряжения, в то время как на омическом сопротивлении в анодной цепи получаются как посто-

янные, так и переменные напряжения. Но и в схеме с дросселем переходной конденсатор C_{g2} необходим, так как в противном случае все напряжение анодной батареи попало бы на сетку второй лампы и при таком высоком положительном напряжении на сетке лампа, конечно, не могла бы нормально работать Точно так же необходима и утечка R_{g2}, по которой электроны могли бы уходить с сетки на нить.

Так же, как и усилители на сопротивлениях, усилители на дросселях могут, очевидно, применяться для усиления высокой и низкой частот. Разница будет заключаться только в



Фиг. 118

устройстве самих дросселей. В случае усиления высокой частоты, так как сопротивление дросселя тем больше, чем больше частота, можно применять катушки с небольшой индуктивностью, т. е. обычные сотовые или цилиндрические катушки. В случае же усиления низкой частоты применяются дроссели с большим числом витков и с железными сердечниками, присутствие которых, как известно, увеличивает индуктивность катушки во много раз.

Ясно, что усилитель на дросселях в отношении наибольшего даваемого усиления обладает тем же недостатком, как и усилитель на сопротивлениях. Если сопротивление дросселя переменному току усиливаемой частоты достаточно велико, то, в лучшем случае, мы получим коэффициент усиления, равный усилительной постоянной примененной лампы. Большего усиления получить, очевидно, нельзя, так как в этом наивыгоднейшем случае на концах дросселя выделится все то переменное напряжение, которое может дать лампа.

Обладая недостатком усилителя на сопротивлениях, усилитель на дросселях не обладает его достоинством в отно-

шении частотной характеристики. Чем больше будет усиливаемая частота, тем больше будет сопротивление дросселя для этой частоты и, следовательно, тем больше будет усиление. Поэтому частотная характеристика всякого усилителя на дросселях должна подниматься кверху. Однако, если индуктивность дросселя так велика, что сопротивление дросселя даже для самых низких из усиливаемых частот оказывается во много раз больше, чем внутреннее сопротивление лампы, то очевидно, что усиление во всем диапазоне усиливаемых частот будет примерно одинаково. Но практически осуществить такие условия довольно трудно. Дело в том, что для увеличения индуктивности дросселя необходимо увеличивать число его витков, вследствие чего возрастает, с одной стороны, омическое сопротивление дросселя, а с другой, — емкость между его витками. Поэтому устранение искажений и получение прямолинейной частотной характеристики в усилителях на дросселях представляет гораздо больше трудностей, чем в усилителях на сопротивлениях.

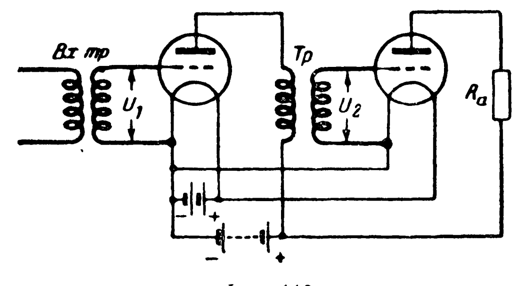
Усилители на дросселях обладают одним значительным преимуществом по сравнению с усилителями на сопротивлениях. Дроссель, представляя значительное сопротивление переменному, может представлять очень малое сопротивление постоянному току, и на нем будет падать очень малое постоянное напряжение, поэтому от источников, питающих аноды ламп, требуется меньшее напряжение, чем в усилителе на сопротивлениях.

54. УСИЛИТЕЛИ НА ТРАНСФОРМАТОРАХ

В усилителях на сопротивлениях, схемы которых мы рассматривали выше, роль анодного сопротивления сводилась к тому, чтобы выделить на этом сопротивлении усиленное переменное напряжение и затем передать это напряжение для дальнейшего усиления на сетку следующей лампы. Эту же роль может выполнить трансформатор. Представим себе, что вместо омического сопротивления в анод усилительной лампы включена первичная обмотка трансформатора *Тр* (фиг. 119). Если первичную обмотку трансформатора питать меняющимся по величине анодным током, то на концах вторичной обмотки трансформатора будет получаться переменное напряжение, которое будет действовать на сетку второй лампы. Словом, трансформатор *Тр* в схеме фиг. 119 будет выполнять ту же роль, которую выполняет анодное сопротивление

в рассмотренных нами ранее схемах усилителей на сопротивлениях. Такой трансформатор, связывающий анод одной лампы с сеткой следующей, называют междуламповым трансформатором. Трансформаторы применяются не только для связи между лампами, но и для подведения напряжения к сетке первой лампы усилителя. Эти трансформаторы носят название входных. Таков, например, трансформатор, обозначенный буквами *Вх. тр.* на фиг. 119.

Между работой схемы на сопротивлениях и на трансформаторах есть целый ряд весьма существенных различий. Основное различие заключается в том, что в случае схемы



Фиг. 119.

на сопротивлениях мы можем подать на сетку второй лампы переменное напряжение не большее, чем то, которое выделяется на анодном сопротивлении предыдущей лампы. В случае же усиления на трансформаторах мы можем напряжение, выделяемое лампой на зажимах первичной обмотки трансформатора, повысить в несколько раз, применяя повышающий трансформатор, т. е. такой трансформатор, у которого во вторичной обмотке число витков в несколько раз больше, чем в первичной. На сетку следующей лампы может быть подано напряжение в несколько раз большее, чем то, которое подводится к первичной обмотке. Вследствие этого в усилителе на трансформаторах можно получить усиление большее, чем в схеме на сопротивлениях. Нетрудно примерно оценить, на сколько больше могло бы быть усиление в схеме на трансформаторах по сравнению со схемой на сопротивлениях. Если будут соблюдены условия, при которых в первичной обмотке трансформатора выделяется то наибольшее напряжение, которое может быть выделено лампой, то сама по себе лампа будет давать усиление, при-

мерно равное ее усилительной постоянной, т. е. если мы на вторичной обмотке входного трансформатора (фиг. 119) имеем некоторое напряжение U_1, то на аноде первой лампы выделится напряжение kU_1, где k — коэффициент усиления первой лампы, меньший или равный ее усилительной постоянной. Вследствие того, что трансформатор Tp повышает напряжение, мы получим на зажимах вторичной обмотки трансформатора Tp напряжение U_2, равное $n \times k \times U_1$, где n — коэффициент трансформации трансформатора Tp. Таким образом, к сетке второй лампы будет подведено напряжение в $k \times n$ рав большее, чем к сетке первой лампы. Другими словами, один каскад нашего усилителя на трансформаторах даст усиление сигналов в $k \times n$ раз.

Произведенный нами расчет, однако, далеко не точен. Практически. во-первых, невозможно получить от лампы усиление, полностью равное ее усилительной постоянной, а во-вторых, при работе схемы нельзя получить на зажимах вторичной обмотки трансформатора напряжение в точности в n раз больше, чем подведенное к зажимам первичной обмотки. И усиление, даваемое лампой, и повышение напряжения, даваемое трансформатором, вследствие целого ряда причин, часть из которых мы рассмотрим в дальнейшем, будут фактически меньше, чем те, которые мы приняли в наших расчетах. И, следовательно, усиление, даваемое одним каскадом усилителя на трансформаторах, будет меньше, чем $k \times n$. Величина $k \times n$ является лишь тем пределом, которого не может превысить даваемое одним каскадом на трансформаторах усиление. Чем лучше построен усилитель, тем ближе будет даваемое им усиление к этому пределу.

Выясним, при каких условиях усиление, даваемое одним каскадом, будет близко к тому максимальному усилению, которое он может дать. Для этого, очевидно, должны быть выполнены следующие условия. На зажимах первичной обмотки трансформатора должно быть выделено то наибольшее напряжение, которое может дать лампа. Для этого, как мы уже знаем, сопротивление первичной обмотки переменному току должно быть достаточно велико. Если это сопротивление будет мало, то только незначительное напряжение выделится в первичной обмотке трансформатора. Таким образом, одним из основных условий получения больших усилений является достаточно большое сопротивление первичной обмотки междулампового трансформатора усиливаемому переменному току. Второе условие, которое необхо-

цимо соблюсти, заключается в том, чтобы получить на зажимах вторичной обмотки возможно более высокое напряжение. Для этого нужно, во-первых, применять достаточно высокий коэффициент трансформации, а во-вторых, ставить трансформатор в такие условия, при которых напряжение не терялось бы внутри самой вторичной обмотки на ее омическом сопротивлении. Это второе условие сводится к тому, чтобы во вторичной обмотке не проходил сколько-нибудь заметный ток, так как при наличии тока во вторичной обмотке неизбежно падение напряжения внутри ее и, следовательно, уменьшение напряжения между сеткой и нитью лампы. Это второе условие соблюсти довольно трудно, так как при положительных напряжениях на сетке через вторичную обмотку будет проходить ток (электроны будут садиться на сетку). Устранить ток в цепи сетки можно, как мы знаем, при помощи отрицательного смещения. Но одновременно с отрицательным смещением приходится повышать и анодное напряжение (для того, чтобы оставаться на средней точке характеристики ламп). Однако, если бы даже и удалось устранить два указанных условия, препятствующих получению максимальных усилений, то все же это усиление не достигло бы теоретической величины $n \times k$ вследствие влияния целого ряда причин, понижающих усиление, даваемое каскадом. К числу этих причин прежде всего относятся паразитные емкости в разных частях схемы, главным образом, паразитные емкости самих обмоток трансформатора. Уже первичная обмотка трансформатора должна иметь значительное число витков, так как она должна обладать большим сопротивлением переменному току. А при большом числе витков неизбежна большая паразитная емкость между витками. Вторичная же обмотка должна иметь еще большее число витков (трансформатор повышающий!), поэтому паразитная емкость вторичной обмотки будет еще больше. При большом числе витков вторичной обмотки вредное влияние паразитной емкости вторичной обмотки становится настолько сильным, что напряжение, подводимое к сетке второй лампы, может оказаться не больше, а меньше напряжения, подведенного к первичной обмотке. Поэтому междуламповые трансформаторы редко делают с большими коэффициентами трансформации Но даже при небольших коэффициентах трансформации—порядка 5 или 6—из-за вредного влияния паразитной емкости все же не удается получить усиление, близкое к теоретическому.

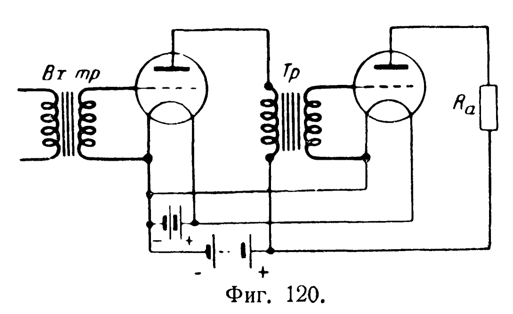
К усилителю на трансформаторах применимы те же замечания в отношении падения напряжения от источников питания, что и к усилителю на дросселях.

Усилитель на трансформаторах, как и усилитель на сопротивлениях, принципиально работает совершенно одинаково как при усилении высокой, так и при усилении низкой частоты. Разница должна быть только в конструкции междулампового трансформатора, чтобы было соблюдено требование относительно достаточно большого сопротивления первичной обмотки переменному току.

В случае усиления высокой частоты первичная обмотка может обладать сравнительно малой индуктивностью, так как для высокой частоты даже небольшие индуктивности представляют уже достаточно большое сопротивление. Поэтому трансформатор, применяемый в усилителях высокой частоты, выполняется обычно в виде двух катушек с небольшим числом витков. Нередко они делаются с сердечниками из магнитного материала (магнетит и т. п.).

55. УСИЛЕНИЕ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ НА ТРАНСФОРМАТОРАХ

Для того чтобы в случае усиления низкой частоты первичная обмотка междулампового трансформатора обладала

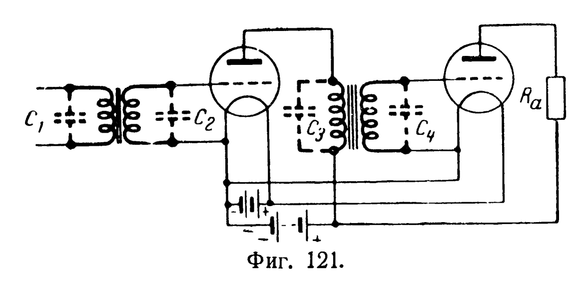


Фиг. 120.

достаточно большим индуктивным сопротивлением токам низкой частоты, она должна иметь достаточно большое число витков. С той же целью для увеличения индуктивности трансформаторы низкой частоты делаются с замкнутыми железными сердечниками. Схема усилителя низкой частоты на трансформаторах изображена на фиг. 120.

Основное преимущество усилителя на трансформаторах по сравнению с усилителем на сопротивлениях, как мы уже ука-

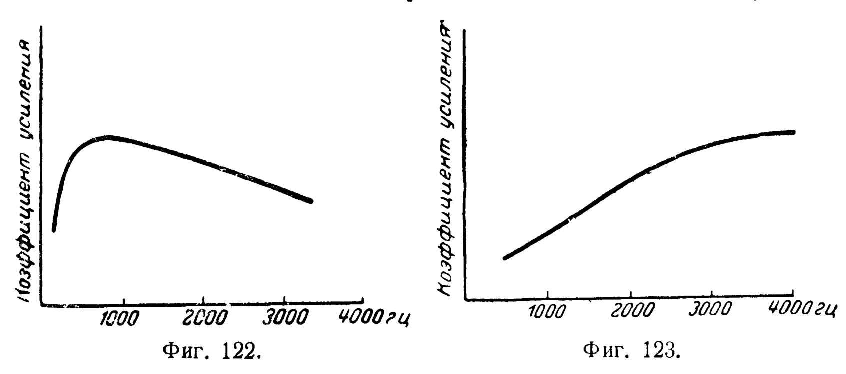
зали выше, заключается в том, что, применяя трансформаторы, повышающие напряжение, можно получить усиление большее, чем в случае усилителей на сопротивлениях. В результате для получения одного и того же усиления можно, применяя усилители на трансформаторах, ограничиться меньшим числом ламп, чем то, которое было бы необходимо в случае усиления на сопротивлениях. Однако, вместе с этим основным достоинством усилитель на трансформаторах обладает также некоторыми весьма существенными недостатками, от которых свободны усилители на сопротивлениях. К рассмотрению этих недостатков мы сейчас и перейдем.



Фиг. 121.

При рассмотрении схемы усилителя на трансформаторах мы уже указывали, что обмотки трансформатора обладают не только самоиндукцией, но также и некоторой собственной емкостью. Эта собственная емкость распределена по обмоткам, но для простоты мы будет предполагать, что она непосредственно присоединена параллельно концам обмоток трансформатора. Таким образом, вместо схемы фиг. 120 мы получим схему, приведенную на фиг. 121. Емкости C_1, C_2, C_3 и C_4 — это те паразитные емкости, которыми обладают обмотки трансформаторов. Влияние этих емкостей очень сильно сказывается на условиях работы трансформатора. Если бы обмотки трансформатора обладали только одной индуктивностью, то мы могли бы выбрать ее настолько большой, что даже для самых низких частот, подлежащих усилению, эта индуктивность составляла бы достаточно большое сопротивление, и поэтому усиление на всех частотах получалось бы примерно одинаковым. При наличии же паразитной емкости общее сопротивление обмотки переменному току той или иной частоты зависит не только от величины индуктивности, но и от величины емкости. Картина получается гораздо более сложной, чем в случае одной индуктивности. Так, например,

для более высоких частот индуктивное сопротивление возрастает, но зато уменьшается сопротивление включенной параллельно емкости. В результате общее сопротивление трансформатора оказывается для высоких частот меньшим, чем для низких. Практически это приводит к тому, что трансформатор никогда не обладает одинаковым сопротивлением для всех звуковых частот и, следовательно, не дает равномерного усиления. Например, если выбрать индуктивность трансформатора так, чтобы уже для самых низких частот (100 *гц*) он обладал достаточным сопротивлением, то для этого необходимо делать индуктивность очень большой, т. е.



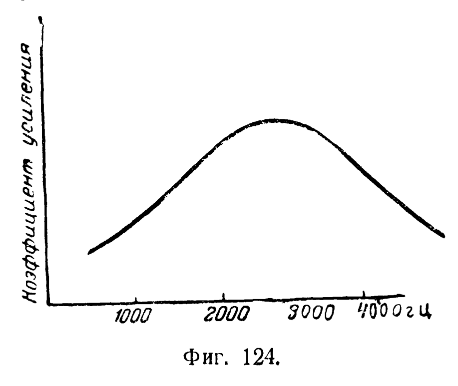
Фиг. 122. Фиг. 123.

брать обмотку с очень большим числом витков. Такая обмотка будет обладать очень большой собственной емкостью и потому будет представлять малое сопротивление для самых высоких частот.

Вообще частотная характеристика усилителя будет сильно зависеть от типа и конструкции примененных трансформаторов. При одном типе трансформатора мы можем получить более значительное усиление на низких частотах и уменьшение усиления на более высоких, т. е. частотную характеристику, изображенную на фиг. 122. При другом типе трансформатора могут больше усиливаться высокие частоты и слабее —низкие, т. е. характеристика будет иметь вид, изображенный на фиг. 123. Однако, в обоих случаях усиление на самых низких частотах мало, так как на очень низких частотах в начале звукового диапазона индуктивное сопротивление всякого трансформатора будет мало.

Кроме двух рассмотренных нами типов частотной характеристики часто встречается и третий тип характеристики, изо-

браженный на фиг. 124. Кривая, приведенная на фиг. 124, напоминает известную кривую резонанса, и действительно—наличие такой частотной характеристики указывает на то, что в цепи усилителя имеет место явление резонанса Причина этого явления заключается в том, что самоиндукция обмотки вместе с емкостью ее представляет некоторый колебательный контур, обладающий определенной собственной частотой. Именно для этой частоты сопротивление обмоток переменному току будет наибольшим и усилитель будет давать наибольшее усиление. Если собственная частота трансформатора лежит в пределах звуковых частот, то мы и получим частотную характеристику, изображенную на фиг. 124. Явления резонанса в трансформаторе низкой частоты могут быть гораздо более сложного характера, чем только что описанное. Собственной частотой может обладать не только первичная обмотка трансформатора, но и вторичная его обмотка. Могут также появляться резонансные частоты вследствие наличия так называемого магнитного рассеяния в трансформаторе. Все это очень усложняет картину и поэтому подробно рассматривать ее мы не будем.



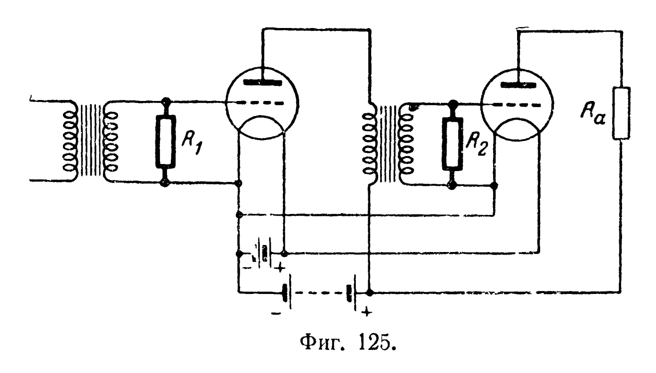
Фиг. 124.

Частотные характеристики, которые мы рассмотрели, говорят о том, что усилитель вносит искажения в передачу. В зависимости от вида частотной характеристики и характер вносимых усилителем искажений в разных случаях будет различным В случае частотной характеристики, изображенной на фиг. 122, усилитель будет больше усиливать низкие частоты, чем высокие, и, следовательно, понижать тембр передачи. В случае характеристики, приведенной на фиг. 123, мы получим, наоборот, повышение тембра передачи. И, наконец, в случае резонансных явлений (фиг. 124) искажения будут сводиться к тому, что резонансные частоты усилителем будут воспроизводиться особенно громко и на этих частотах будут получаться выкрики. Все эти три типа искажений могут заметно понизить художественность передачи. Однако, повышение или понижение тембра может быть до некоторой

степени сглажено или свойствами репродуктора (например, понижение тембра может быть сглажено репродуктором, лучше передающим высокие частоты), или присоединением конденсатора параллельно репродуктору. Этот конденсатор представляет небольшое сопротивление для высоких звуковых частот и, замыкая их через себя, ослабляет высокие частоты в репродукторе, тем самым сглаживая повышение тембра. Что же касается искажения вследствие резонанса, то борьба с ним гораздо труднее. Поэтому одним из основных требований, предъявляемых к трансформатору, является отсутствие в нем резонансных свойств или во всяком случае слабо выраженные резонансные свойства.

Вопрос о выборе трансформатора сводится к тому, чтобы подобрать трансформаторы, дающие возможно меньше искажений, и кроме того, попытаться все же неизбежные искажения устранить. Ниже мы приведем некоторые указания относительно способов устранения искажений. Но даже не применяя каких-либо специальных мер против искажений, можно, особенно в случае многолампового усилителя, так выбрать трансформаторы низкой частоты, чтобы значительно уменьшить даваемые усилителем искажения. Основные соображения, которые надо принимать во внимание при выборе трансформатора, сводятся к следующему. Прежде всего следует остановиться на том или ином коэффициенте трансформации для каждого каскада усиления. Как мы уже указывали в свое время, для получения неискаженного усиления нужно работать на прямолинейной части характеристики лампы. Поэтому коэффициент трансформации надо выбирать таким образом, чтобы напряжения на вторичной обмотке трансформатора не превышали тех пределов, в которых лежит прямолинейная часть характеристики лампы. Ясно, что чем больше будет напряжение на первичной обмотке трансформатора, т. е. чем сильнее будут сигналы, тем меньше должен быть коэффициент трансформации для того, чтобы указанное выше условие было соблюдено. Практически это сводится к тому, что в первом каскаде усиления (на входе усилителя) применяются трансформаторы с большим коэффициентом трансформации — 4, 5 или даже 6. В следующих каскадах, когда сигналы уже усилены, применять трансформаторы с таким высоким коэффициентом трансформации нецелесообразно, и обычно в последующих каскадах применяются трансформаторы с коэффициентом трансформации 3 или 2, а в некоторых случаях даже 1.

Помимо правильного выбора коэффициента трансформации при выборе типа трансформатора необходимо ослабить вредное действие резонанса в обмотках трансформатора. Для устранения резонансных явлений в обмотках трансформаторов применяется шунтирование обмоток омическими сопротивлениями (фиг. 125). Роль этих шунтов (R_1 и R_2 на фиг. 125) сводится к следующему. Вследствие наличия напряжений на вторичной обмотке трансформатора по шунту проходит ток, и трансформатор работает с нагрузкой (при отсутствии шунта и отрицательном смещении на сетке тока



Фиг. 125.

во вторичной обмотке трансформатора почти нет, и, следовательно, в этом случае трансформатор работает без нагрузки, или «вхолостую»). По своим свойствам трансформатор, работающий на нагрузку, резко отличается от трансформатора, работающего вхолостую. Мы не будем подробно говорить об этих различиях и укажем только интересные для нас результаты. Трансформатор, работающий с нагрузкой, обладает гораздо более слабо выраженными резонансными свойствами, чем трансформатор, работающий вхолостую. Но, с другой стороны, наличие шунта значительно понижает напряжение, получающееся на зажимах вторичной обмотки. Таким образом, включение шунтов приводит к уменьшению резонансных искажений, но вместе с тем и к уменьшению усиления, даваемого усилителем. Для того, чтобы, с одной стороны, ослабить резонансные искажения, а с другой — не слишком уменьшить усиление, нужно правильно подобрать величину сопротивления (ясно, что чем меньше будет сопротивление шунта, тем меньше будет и усиление). В обычных типах усилителей, встречающихся в радиолюбительской прак-

тике, эти шунты имеют величину от нескольких тысяч до нескольких десятков тысяч ом. Помимо устранения резонансных свойств шунты во вторичных обмотках ослабляют возможные искажения и иного типа, именно искажения вследствие наличия тока в цепи сетки. Когда на сетку лампы подается положительное напряжение, во вторичной обмотке появляется ток. В полупериод отрицательного напряжения на сетке ток во вторичной обмотке отсутствует. Таким образом, трансформатор работает полпериода вхолостую, а полпериода — с нагрузкой. Так как в том и в другом случае свойства трансформатора различны, то и усиление положительных и отрицательных полупериодов тока получается неодинаковым. В результате возникают новые искажения. Если же вторичная обмотка зашунтирована сопротивлением, то по нему проходит ток как в течение положительных, так и в течение отрицательных полупериодов, т. е. трансформатор работает все время с нагрузкой. Поэтому усиление хотя и получается меньшее, чем без шунтов, но зато различие в напряжениях в положительный и отрицательный полупериод получается гораздо меньше и обусловленные этим различием искажения почти отсутствуют.

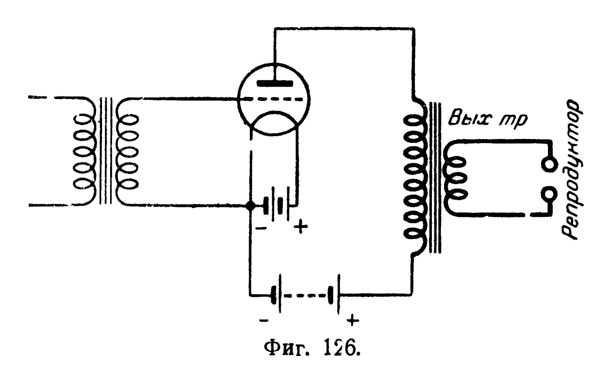
Вместо шунтов во вторичных обмотках трансформаторов иногда применяется другой способ ослабления резонансных свойств трансформаторов и устранения искажений, появляющихся вследствие неодинакового усиления двух полупериодов усиливаемых колебаний. Это — способ так называемых «нагрузочных обмоток». На сердечник трансформатора помимо двух нормальных обмоток (первичной и вторичной) наматывается дополнительная обмотка в несколько десятков витков более толстой, чем в основных обмотках, проволоки (диаметром от 0,1 до 0,5 *мм*). Эта обмотка замыкается или накоротко, или на небольшое сопротивление. Очевидно, что в этой замкнутой обмотке будет проходить ток, и, следовательно, трансформатор будет работать с нагрузкой. Таким образом нагрузочная обмотка действует так же, как и шунт на вторичной обмотке. Величина нагрузки, вносимой нагрузочной обмоткой, определяется силой тока в этой обмотке, т. е. в конечном счете, с одной стороны, числом витков нагрузочной обмотки (отчего зависит напряжение на концах обмотки), и с другой — общим сопротивлением самой обмотки и величиной внешнего сопротивления. Если нагрузочная обмотка замкнута накоротко, то ее влияние зависит от числа витков и сопротивления самой обмотки, т. е. сечения и материала провода

обмотки. Подбором сечения и числа витков нагрузочной обмотки можно в нужной степени нагрузить трансформатор, т. е. подавить некоторые искажения; но, конечно, вместе с тем уменьшается и напряжение на вторичной обмотке, т. е. получаемое усиление. Многие из современных фабричных междуламповых трансформаторов выпускаются уже с готовой нагрузочной обмоткой.

56. ОКОНЕЧНОЕ УСИЛЕНИЕ

Каскады предварительного усиления всегда работают на следующий каскад, т. е. создаваемые ими напряжения подаются на сетку следующей лампы для управления ее анодным током. Для управления анодным током нужны достаточно большие напряжения, но не требуется сколько-нибудь значительной мощности. Поэтому задача предварительных каскадов заключается в усилении напряжения, т. е. в том, чтобы на выходе усилителя получить возможно большее напряжение. Для этого, как мы выяснили, нужно в анодных цепях применять сопротивления (омические или индуктивные), величина которых по крайней мере в несколько раз превосходит внутреннее сопротивление лампы. Однако, не всегда задача усилителя сводится к тому, чтобы получить на выходе максимальное напряжение. В том случае, когда лампа является оконечной, т. е. в анодную цепь лампы включен телефон или репродуктор, задача усилителя оказывается несколько иной. Он должен выделить во внешней цепи (т. е. в репродукторе) не наибольшие напряжения, а наибольшую мощность, так как громкость звука зависит, в конечном счете, от той мощности, которая подводится к репродуктору. Для наилучшего выполнения этой задачи наше прежнее условие (внешнее сопротивление, во много раз превосходящее внутреннее) уже окажется неверным. Подробное рассмотрение этого вопроса показывает, что наибольшая мощность, которая может быть получена при отсутствии искажений, так называемая *неискаженная мощность*, выделится во внешней цепи совсем при иных условиях, именно, когда сопротивление внешней нагрузки переменному току есть величина такого же порядка, как внутреннее сопротивление лампы. Для этого телефон или репродуктор должен обладать достаточно большой индуктивностью, т. е. обмотка электромагнита репродуктора (или телефона) должна иметь большое число витков, — репродуктор (или телефон) должны

быть «высокоомными». В «низкоомном» телефоне или репродукторе, т. е. имеющем мало витков в обмотке электромагнита и включенном непосредственно в анодную цепь лампы, будет выделяться очень незначительная мощность (вследствие несоответствия в сопротивлениях репродуктора и лампы) и репродуктор будет работать плохо. Такие низкоомные репродукторы следует включать в анодную цепь оконечной лампы не непосредственно, а через выходной трансформатор *Вых. тр.* (фиг. 126), имеющий большое число витков в первичной обмотке и малое во вторичной. Такой трансфор-

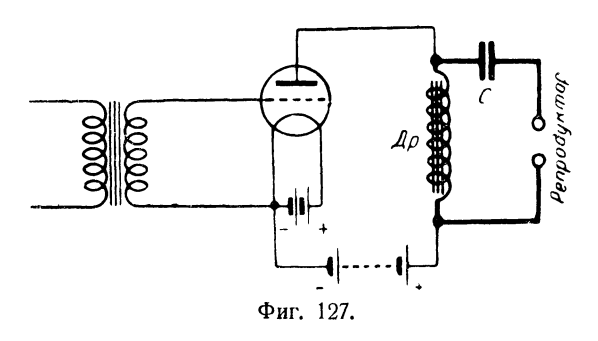


Фиг. 126.

матор является для оконечной лампы подходящей нагрузкой, так как индуктивное сопротивление его первичной обмотки достаточно велико, а вторичная обмотка с малым числом витков обладает малым внутренним сопротивлением, что как раз выгодно для работы на низкоомный репродуктор. Все низкоомные репродукторы независимо от их типа (электромагнитные, динамические и т. д.) должны включаться не непосредственно в анодную цепь оконечной лампы, а через выходной трансформатор. Чтобы можно было наивыгоднейшим образом подобрать внутреннее сопротивление вторичной обмотки выходного трансформатора к сопротивлению репродуктора (в случае применения различных типов репродукторов), вторичная обмотка выходного трансформатора часто делается секционированной.

Высокоомные репродукторы хотя и можно с точки зрения выделения наибольшей энергии включать непосредственно в анодную цепь оконечной лампы, но часто это бывает нецелесообразно по другой причине. При непосредственном включении репродуктора в анодную цепь через обмотку репродук-

тора проходит весь постоянный анодный ток лампы, который нагревает обмотку репродуктора, создает добавочное подмагничивание и т д. Между тем для работы репродуктора этот постоянный анодный ток совсем не нужен, так как репродуктор приводится в действие только переменной составляющей анодного тока. Чтобы не перегружать репродуктор постоянным током, для включения высокоомных репродукторов часто пользуются выходным трансформатором, но в этом случае трансформатор имеет примерно одинаковое число витков в первичной и вторичной обмотках.



Фиг. 127.

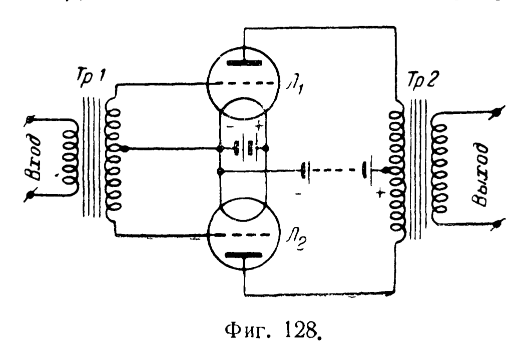
Вместо выходного трансформатора для той же цели применяется так называемый д р о с с е л ь н ы й в ы х о д (фиг. 127). Обмотка репродуктора включается в анодную цепь лампы через конденсатор *C*, который не пропускает в обмотку постоянной составляющей анодного тока. Чтобы создать путь для постоянной составляющей анодного тока (без чего лампа не могла бы работать), включается дроссель низкой частоты *Др* Индуктивное сопротивление этого дросселя должно быть достаточно велико, чтобы в него не ответвлялись сколько-нибудь заметно переменные токи, питающие репродуктор.

Работа каскада оконечного усиления относится к тому случаю, когда сопротивление нагрузки и внутреннее сопротивление лампы сравнимы между собой. В этом случае, как мы говорили, усилительные возможности лампы определяются ее добротностью, которая должна быть возможно больше. Кроме того, так как оконечная лампа должна выделять в анодной цепи значительную мощность, то ее нужно рассчитать на достаточную мощность, чтобы она допускала высокие анодные напряжения и давала значительные анод-

ные токи. Мощность, которая должна быть подведена от источника анодного напряжения к оконечной лампе, должна быть, по крайней мере, в 8—10 раз больше той мощности, которую нужно выделить в анодной цепи, т. е. которую потребляет репродуктор. В данных об оконечных лампах помимо указаний о той мощности, которая к лампе может быть подведена, часто указывается и та неискаженная мощность, которую лампа может отдать. Эта мощность, во всяком случае, должна быть не меньше той, которая необходима для нормальной работы репродуктора.

57. ДВУХТАКТНЫЕ СХЕМЫ

В оконечном усилении низкой частоты нередко применяются так называемые двухтактные схемы (пушпулл). Нормальная схема одного каскада пушпулл приведена на фиг. 128. Каждый каскад схемы пушпулл состоит из двух ламп ($Л_1$ и $Л_2$), включенных как бы навстречу друг другу.



Фиг. 128.

Напряжение к сеткам ламп подводится от концов вторичной обмотки входного трансформатора $Тр_1$. Так как на концах всякой обмотки напряжения в каждый момент имеют противоположные знаки, то к сеткам ламп подводятся напряжения противоположных знаков. Кроме того, так как средняя точка вторичной обмотки соединена с нитями ламп, то очевидно, что на каждую сетку подается половина полного напряжения, получающегося на зажимах вторичной обмотки трансформатора $Тр_1$.

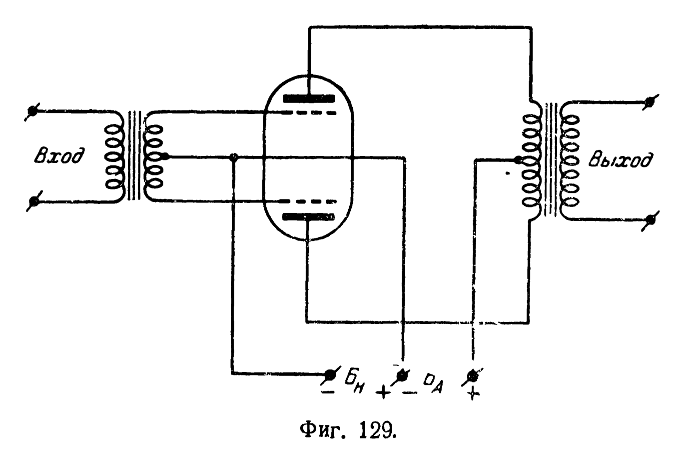
Первичная обмотка трансформатора $Тр_2$ устроена так же, как вторичная трансформатора $Тр_1$, т. е. имеет среднюю точку, к которой подводится анодное напряжение. Анодные токи

обеих ламп направлены (каждый по соответствующей половине обмотки) в противоположные стороны и на сердечник трансформатора будет действовать магнитный поток, создаваемый разностью обоих анодных токов. Так как к сеткам ламп подводятся противоположные напряжения, то в то время, когда сила анодного тока одной лампы возрастает, в другой лампе она уменьшается. Если один анодный ток уменьшается, а другой увеличивается, то разность их будет возрастать. Вместе с тем будет возрастать и магнитный поток в сердечнике трансформатора Tp_2, и будет появляться напряжение на зажимах вторичной обмотки этого трансформатора, т. е. на выходе усилителя. Пока на сетки ламп не действует переменное напряжение, оба анодных тока равны, и разность их, а следовательно, и магнитный поток, равны нулю. Когда на сетки ламп действует переменное напряжение, анодные токи ламп начинают изменяться в разные стороны и появляется напряжение во вторичной обмотке выходного трансформатора Tp_2.

Таков принцип действия схемы пушпулл (пушпулл по-английски значит «тяни-толкай»). После всего сказанного выше ясно, почему эта схема получила такое название. Анодные токи изменяются в разные стороны, — когда один ток «тянет», другой «толкает».

Двухтактные схемы по сравнению с обычными схемами обладают целым рядом преимуществ, важнейшие из которых сводятся к следующему. Двухтактная схема облегчает борьбу с различными типами искажений и дает тем самым возможность получения художественной передачи. Вместе с тем эта схема позволяет получить экономию в расходовании анодного тока и уменьшить нагрузку на анодах ламп. Это становится возможным, потому что в двухтактной схеме рабочая точка может находиться не в середине прямолинейной части характеристики, а вблизи нижнего изгиба. Благодаря тому, что лампы работают «навстречу», это не вызывает заметных искажений. Среднее же значение анодного тока при таком режиме гораздо меньше, чем в обычных условиях. Наконец, в двухтактной схеме магнитный поток в сердечнике трансформатора равен разности магнитных потоков, создаваемых анодными токами обеих ламп, т. е. во всяком случае он меньше, чем магнитный поток, создаваемый одной лампой. Поэтому в усилителях пушпулл устраняется опасность насыщения железа сердечника и вместе с этим устраняются вызываемые явлением насыщения искажения передачи. Все эти

преимущества, конечно, особенно существенны для мощных усилителей и поэтому двухтактные схемы применяются, главным образом, в качестве оконечных каскадов, особенно в тех случаях, когда важную роль играют уменьшение расхода тока источника анодного напряжения и повышение к. п. д. усилителя.



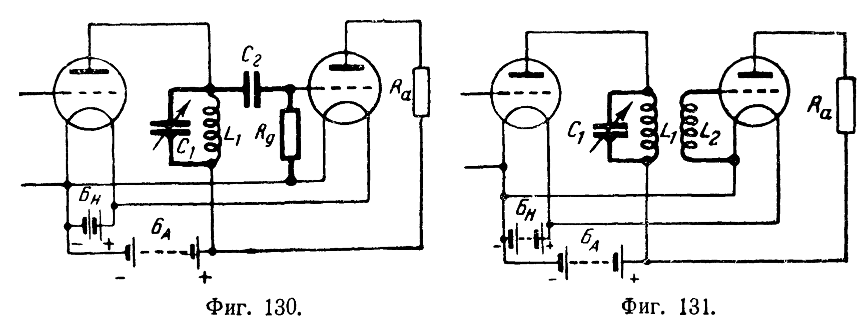
Фиг. 129.

Широкое распространение схем пушпулл вызвало появление специальной лампы, так называемого **двойного триода**. Эта лампа имеет один общий катод, две отдельных сетки и два отдельных анода и представляет собой, в сущности, два отдельных триода с общим катодом. Каждый из этих триодов работает, как обычный триод в одном из плеч каскада пушпулл, и таким образом, весь двухтактный каскад осуществляется на одном двойном триоде. Схема усилителя пушпулл на двойном триоде приведена на фиг. 129.

58. РЕЗОНАНСНЫЕ УСИЛИТЕЛИ

Все три рассмотренных нами типа усилителей—усилители на сопротивлениях, на дросселях и на трансформаторах — обладают значительными недостатками, на которые мы указывали выше. Эти недостатки не очень заметны при усилении низкой частоты и в усилителях низкой частоты все три типа усиления находят себе применение. Но для усиления высокой частоты вследствие этих недостатков ни одна из всех трех рассмотренных схем усиления, в сущности, уже

непригодна. Вместо них применяются резонансные усилители высокой частоты, представляющие собой некоторое видоизменение схем на дросселях или на трансформаторах. Видоизменение это заключается в том, что либо междуламповые дроссели, либо междуламповые трансформаторы настраиваются в резонанс на ту частоту, которая должна быть усилена, например на длину волны принимаемой станции. Поэтому они называются схемами резонансного усиления. Применение настройки междуламповых дросселей и трансформаторов приводит к двум основным схемам резо-

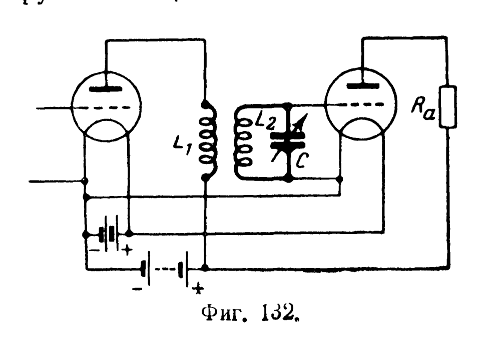


Фиг. 130.

Фиг. 131.

нансного усиления, а именно: к схеме резонансного усиления на дросселях (фиг. 130) или к схеме резонансного усиления на трансформаторах (фиг. 131). В схеме резонансного усиления на дросселях (фиг. 130) параллельно дросселю L_1 включается конденсатор переменной емкости C_1, при помощи которого дроссель настраивается на частоту принимаемой станции. Как известно, при резонансе колебательный контур, составленный из включенных параллельно емкости и самоиндукции, представляет собой очень большое сопротивление для токов той частоты, на которую он настроен. Таким образом, при резонансном усилении мы всегда получаем очень большое сопротивление в анодной цепи для тех токов, которые должны быть усилены. А это, как мы знаем, есть непременное условие получения наибольшего усиления. Напряжения, получающиеся на зажимах анодного контура, так же как и в случае усиления на сопротивлениях или ненастроенных дросселях, передаются через переходной конденсатор постоянной емкости C_2 на сетку следующей лампы. Для того, чтобы дать возможность электронам, попадающим на сетку лампы, уйти с нее, между сеткой и нитью вклю-

чается утечка сетки R_g. В схемах резонансного усиления на трансформаторах при помощи переменного конденсатора настраивается одна из обмоток междулампового трансформатора. На фиг. 131 приведена схема, в которой при помощи переменного конденсатора C_1 настраивается на частоту принимаемых сигналов самоиндукция L_1, т. е. первичная обмотка трансформатора. Как и в случае настроенных дросселей, это обеспечивает получение максимальных напряжений на зажимах первичной обмотки. Во вторичной обмотке L_2 индуктируются напряжения, воздействующие непосредственно на сетку лампы; при этом напряжения на зажимах вторичной обмотки могут быть больше, чем полученные на зажимах первичной, если трансформатор сделан повышающим. Для этой цели междуламповые трансформаторы применяются обычно с коэффициентом трансформации больше единицы (число витков во вторичной обмотке в 1,5—2 раза больше числа витков в первичной). Напряжения, получающиеся на зажимах вторичной обмотки, подводятся к следующей лампе.



Фиг. 132.

Схема резонансного усиления на трансформаторах часто осуществляется несколько иначе; именно, настройка применяется не в первичной L_1, а во вторичной L_2 обмотке междулампового трансформатора (фиг. 132). Схема эта никакого принципиального различия по сравнению со схемой фиг. 131 не представляет. Так как обе обмотки достаточно сильно связаны между собой, то настройка вторичной обмотки определяет настройку первичной, и первичная обмотка обладает наибольшим сопротивлением именно для тех частот, на которую настроена вторичная. В качестве настроенного дросселя или обмоток настроенного трансформатора обычно применяются нормальные катушки самоиндукции цилиндрического, сотового или какого-либо другого типа. Число витков катушки определяется из тех соображений, что вместе с переменным конденсатором C она должна перекрывать определенный участок волн радиовещательного диапазона. Для перекрытия всего радиовещательного диапазона могут быть применены

катушки, разделенные на секции. При определении числа секций постоянной катушки нужно иметь в виду, что в этом случае к переменному конденсатору не прибавляется постоянная емкость антенны (что имеет место в колебательном контуре, присоединенном к антенне) и поэтому переменный конденсатор перекрывает больший участок диапазона, чем в приемных контурах, присоединяемых к антенне.

Одно из основных достоинств резонансного усиления мы уже отметили выше. Оно заключается в возможности получения усилений значительно больших, чем те, которые могут дать схемы на сопротивлениях и ненастроенных дросселях и трансформаторах, особенно в более короткой части радиовещательного диапазона. Но этим не исчерпываются все преимущества резонансного усиления. Другое крупное преимущество резонансного усиления заключается в повышении избирательности всего приемного устройства в целом. Обусловливается это тем, что колебательный контур, настроенный на определенную частоту, представляет собой очень большое сопротивление для этой частоты и сравнительно малое сопротивление для тех частот, на которые он не настроен. Следовательно, лампа, включенная по схеме резонансного усиления, будет хорошо усиливать те колебания, на частоту которых настроен трансформатор или дроссель, и не будет усиливать тех колебаний, частота которых отличается от частоты контура. Благодаря этому мы получим при резонансном усилении большую остроту настройки, которая будет особенно велика в случае применения не одного, а двух или нескольких каскадов резонансного усиления. Таким образом основными достоинствами схем резонансного усиления являются высокая чувствительность и большая острота настройки, т. е. те два основных качества, которыми, главным образом, оценивается достоинство приемника. Однако, эти достоинства приобретаются за счет усложнения не только конструкции, но и способа настройки приемника вследствие увеличения числа настраивающихся контуров. Даже в случае одного каскада резонансного усиления на высокой частоте приемник содержит уже два настраивающихся контура — в антенне (приемный контур) и в резонансном усилителе. Для приема той или иной станции оба эти контура должны быть настроены на соответствующую частоту. Необходимость настройки двух контуров весьма усложняет работу со схемой резонансного усиления.

Для приема далеких слабо слышимых станций одного кас-

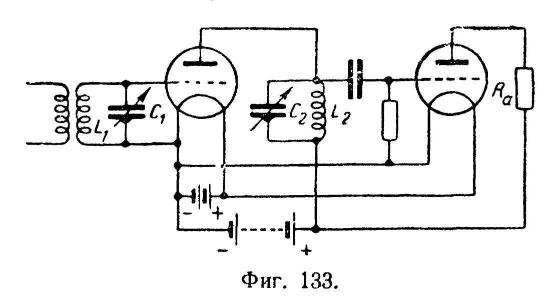
када резонансного усиления высокой частоты оказывается недостаточно. В этом случае приходится применять два каскада усиления высокой частоты. Так как каждый из каскадов имеет настраивающийся контур, то увеличение числа каскадов связано с увеличением числа элементов настройки, т. е. с ее усложнением. Уже при двух каскадах резонансного усиления приемник должен иметь не менее трех настраивающихся контуров (в антенне и в анодных цепях первой и второй ламп). Настройка трех контуров на одну и ту же волну представляет уже значительные трудности. Для устранения трудностей в управлении приемником, обусловленных наличием многих контуров и необходимостью все их настраивать на принимаемую частоту, сейчас широко применяется соединение нескольких (двух-трех) переменных конденсаторов на одной оси с общей рукояткой. Однако, применение нескольких конденсаторов на одной оси усложняет сборку и наладку приемника.

59. ОСОБЕННОСТИ РЕЗОНАНСНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Одной из особенностей усилителей высокой частоты с настроенными контурами является легкость возникновения собственных колебаний в контурах усилителя. В дальнейшем мы познакомимся более подробно с процессом возникновения колебаний в ламповых схемах, а пока ограничимся только краткими объяснениями причин возникновения колебаний в резонансных усилителях и методов их устранения.

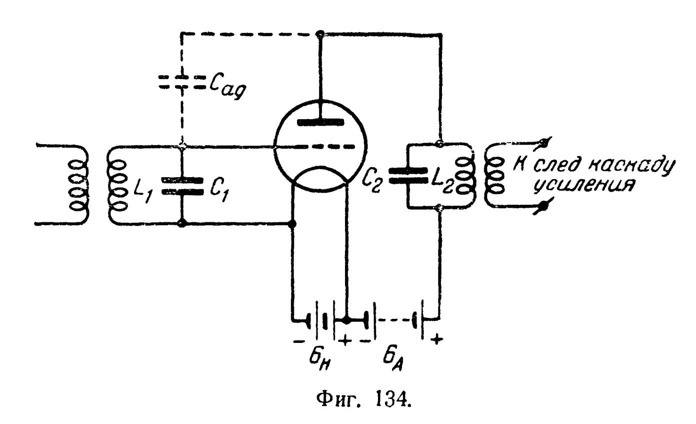
Возможность возникновения колебаний в контурах резонансного усилителя обусловливается двумя причинами: во-первых, присутствием колебательных контуров в цепи сетки и анода лампы и, во-вторых, наличием связи между этими контурами. Если бы между контурами L_1C_1 и L_2C_2 резонансного усилителя (фиг. 133) не существовало никакой связи, то собственные колебания в контурах усилителя вообще не могли бы возникнуть. В случае же наличия связи между этими контурами в колебательных контурах резонансного усилителя могут возникать собственные колебания. Следовательно, задача устранения собственных колебаний в резонансном усилителе сводится к устранению связи между колебательными контурами, включенными в сетку и анод усилительной лампы. Если эти связи удалось бы полностью устранить, то собственные колебания в усилителе не возникали бы.

Какие же связи могут существовать между контурами L_1C_1 и L_2C_2? Прежде всего контуры могут быть связаны между собой через усилительную лампу. Так как электроды лампы обладают некоторой взаимной емкостью, то колеба-



Фиг. 133.

тельные контуры, включенные в сетку и анод лампы неизбежно оказываются связанными между собой через междуэлектродную емкость (т. е. через емкость сетка — анод). Для простоты мы можем при рассмотрении схем считать, что лампа не обладает внутренней емкостью, но что зато между сеткой и анодом лампы включена дополнительная емкость



Фиг. 134.

C_{ag} (на фиг. 134 указана пунктиром), действие которой будет такое же, как и действие внутренней емкости между сеткой и анодом лампы. Такая емкостная связь между сеткой и анодом лампы может быть причиной возникновения собственных колебаний, если емкость C_{ag} достаточно велика. Поэтому

емкости между электродами лампы могут быть причиной возникновения паразитных колебаний в резонансных усилителях высокой частоты. Для устранения этой опасности необходимо сделать возможно меньшей емкость между сеткой и анодом лампы. Однако, в обычном триоде эта емкость не может быть сделана очень малой. В многоэлектродных же лампах эту емкость удается свести к минимуму. В этом заключается одно из основных преимуществ многоэлектродных ламп в применении для усиления высокой частоты. При рассмотрении многоэлектродных ламп мы к этому вопросу еще вернемся.

Но помимо междуэлектродной емкости паразитная связь между контурами сетки и анода может возникать и по другим причинам. Эти причины таковы: наличие непосредственного взаимного электрического и магнитного влияния между контурами или соединительными проводами, связь через источники питания — главным образом, через анодную батарею (или выпрямитель), через которую, если не принято специальных мер, проходят токи высокой частоты обоих каскадов усилителя и эти токи могут влиять друг на друга. Для устранения взаимного влияния между контурами и проводами их располагают возможно дальше друг от друга и закрывают отдельными металлическими экранами. Наконец, применяют и общий металлический экран для всего усилителя, чтобы устранить влияние получающихся на выходе усиленных колебаний на вход приемника. Для устранения влияния через источник высокого напряжения источник шунтируется конденсатором, открывающим путь токам высокой частоты мимо источника. Все эти меры, если они тщательно выполнены, позволяют устранить паразитные колебания в однокаскадном и двухкаскадном резонансном усилителе. Однако, чем больше число каскадов усиления, тем сильнее колебания на выходе по сравнению с колебаниями на входе и тем сильнее сказывается влияние выходной цепи на входную. Даже при очень слабых связях между входом и выходом усилителя, если число каскадов велико, неизбежно возникают паразитные колебания. Поэтому применять более чем три каскада резонансного усиления высокой частоты практически невозможно. Этим ограничивается и то наибольшее общее усиление, которое может быть получено от усилителя высокой частоты. Это наибольшее усиление на разных частотах оказывается различным. Чем выше частота усиливаемых колебаний, тем больше опасность возникновения собственных колебаний и

тем меньше то усиление, которое может дать усилитель без возникновения паразитных колебаний.

Заметим кстати, что даже в усилителях низкой частоты по тем же причинам не удается получить сколь угодно большого общего усиления. Однако, так как эти причины в усилителях низкой частоты влияют гораздо слабее, на низкой частоте удается получить гораздо большее общее усиление, чем в усилителях высокой частоты.

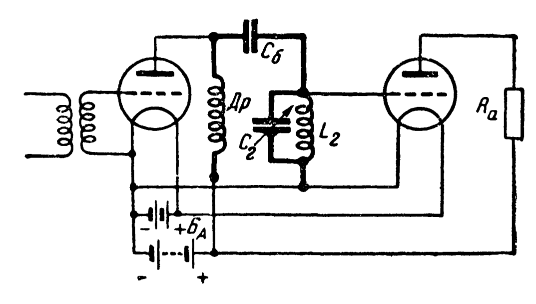
Однако, вернемся к усилителям высокой частоты. Независимо от того, что наибольшее усиление, которое может быть получено от резонансного усилителя, зависит от частоты, фактическое усиление, даваемое каскадом резонансного усиления, также обычно зависит от частоты. Причина этого лежит в том, что при изменении настройки контуров их резонансные свойства также изменяются. При неизменной индуктивности затухание контура зависит не только от величины сопротивления, но и от величины емкости. Поэтому по мере увеличения емкости переменного конденсатора (т. е. перехода к более длинным волнам) резонансные свойства контура ухудшаются. С другой стороны, резонансный контур работает на нагрузку, которой является входное сопротивление следующей лампы. Вместе с тем и внутреннее сопротивление лампы, в анод которой включен контур, является нагрузкой для этого контура. Эти нагрузки ухудшают резонансные свойства контура. Так как величина этих нагрузок зависит также от частоты, то в конечном счете усиление, даваемое резонансным усилителем, может сложным образом зависеть от частоты, на которую усилитель настроен. Иначе говоря, частотная характеристика резонансного усилителя далека от горизонтальной прямой. Резонансные усилители стремятся конструировать таким образом, чтобы их частотная характеристика была возможно выше и ближе к горизонтальной в наиболее употребительной средней части диапазона, и мирятся с тем, что по краям диапазона она спадает (т. е. усиление уменьшается).

Применение экранов как для отдельных контуров резонансного усилителя, так и для всего усилителя в целом полезно не только для уменьшения паразитных связей между каскадами, но и для устранения внешних влияний, к которым резонансные усилители весьма чувствительны. Эта чувствительность, которая является также характерной особенностью резонансных усилителей, обусловлена следующими причинами. Если, например, около конденсатора переменной емкости пе-

ремещается какой-либо проводник, то емкость конденсатора из-за влияния этого проводника несколько изменяется. В частности, и движение рук оператора влияет на емкость конденсатора и изменяет настройку контура усилителя. При очень высокой избирательности резонансных усилителей эти изменения смогут сказаться на силе сигнала. Экраны устраняют влияние внешних проводников на контуры усилителя, следовательно, устраняют «влияние руки». Но экраны действуют так только в случае, когда контуры целиком заключены в экраны. Между тем для настройки контуров необходимо выводить наружу хотя бы оси переменных конденсаторов. При этом, если ось соединена электрически с экраном, она как бы является его продолжением и экран действует попрежнему. Если же выведенная наружу ось не соединена с экраном, то начинает сказываться влияние внешних проводников на емкость конденсатора, со всеми вытекающими из этого последствиями. Поэтому ось, а следовательно, и подвижные пластины переменного конденсатора следует соединять с экраном, который, в свою очередь, должен быть заземлен (соединен с катодами ламп, которые обычно соединяются с землей). Для этого конденсаторы переменной емкости в схему должны включаться таким образом, чтобы одна из обкладок была непосредственно соединена с катодом. В схемах с настройкой вторичной обмотки трансформаторов (фиг. 132) это требование соблюдено. В схемах же с настройкой первичной обмотки (фиг. 131) и с настроенным дросселем (фиг. 130) ни одна из обкладок не может быть присоединена к катоду. Вследствие этого в двух последних схемах не может быть достигнута такая же надежная экранировка, как в первой. Помимо того, если конденсатор не может быть присоединен подвижными пластинами к экрану, то и крепление его на шасси или панели усилителя требует специальной изоляции. Наконец, присоединение подвижных пластин к экрану облегчает обьединение нескольких переменных конденсаторов на одном валу, так как все оси присоединены к экрану и потому могут быть соединены металлически.

Все эти преимущества столь существенны, что везде применяются почти исключительно конденсаторы с заземленными подвижными пластинами. Если выбранная схема непосредственно не позволяет этого сделать (например, схема фиг. 130), ее видоизменяют, применяя так называемое «параллельное питание». Это видоизменение принципиально может быть сделано в любом усилителе, но чаще всего встре-

чается в резонансных усилителях высокой частоты (и в генераторных схемах). Состоит это видоизменение в том, что к аноду лампы присоединяется не одна цепь, как обычно, а две цепи параллельно (фиг. 135). Одна из этих параллельных цепей служит для питания анода лампы постоянным током от анодной батареи $Б_A$ (отсюда и пошло название «параллельное питание»), а другая представляет путь для колебаний высокой частоты и содержит ту анодную нагрузку, на которой выделяется усиленное переменное напряжение. В схеме



Фиг. 135.

фиг. 135 этой нагрузкой служит колебательный контур L_2C_2. Для того, чтобы высокое напряжение анодной батареи не замкнулось через катушку L_2 и не попало на сетку второй лампы, между контуром и анодом лампы ставится блокировочный конденсатор $C_б$, преграждающий путь постоянному току. С другой стороны, чтобы переменный ток высокой частоты не замкнулся через анодную батарею $Б_A$, в цепь батареи включен последовательно высокочастотный дроссель *Др*, преграждающий путь токам высокой частоты. Таким образом, в схеме параллельного питания постоянная составляющая и переменная составляющая анодного тока разделены и проходят по разным цепям. Помимо того, что одна из обкладок переменного конденсатора соединена непосредственно с катодом (что именно и требовалось), эта схема обладает еще одним преимуществом: переменная составляющая тока не попадает в цепи анодного питания, общие для всех ламп, и поэтому уменьшается опасность паразитных связей и воздействия одних каскадов на другие. Высокую частоту лучше не пускать «бродить» по приемнику, а немедленно после того, как она сделала свое дело, направлять ее по кратчайшему пути к катоду.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

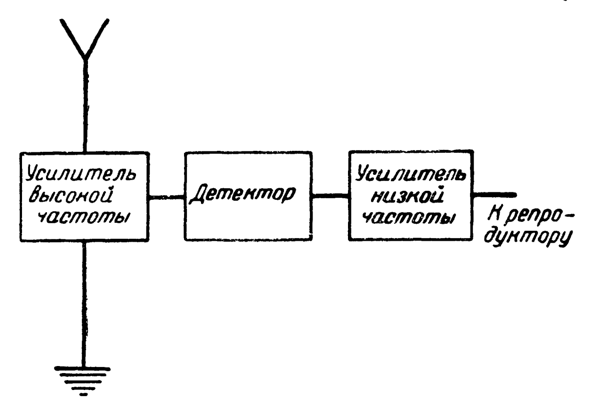
ЛАМПОВЫЙ ПРИЕМНИК

60. ЭЛЕМЕНТЫ ЛАМПОВОГО ПРИЕМНИКА

Всякий ламповый приемник состоит из отдельных элементов (составных частей), выполняющих разные операции, необходимые для осуществления радиоприема в целом. Разные типы ламповых приемников могут очень значительно отличаться друг от друга по схеме и устройству, но все они состоят из различных комбинаций небольшого числа однотипных элементов. Поэтому мы не будем рассматривать всего разнообразия ламповых приемников, а ограничимся рассмотрением только тех основных элементов, из которых состоит всякий радиоприемник. Зная, как действует каждый из этих элементов и каково его назначение, уже нетрудно разобраться в устройстве и действии каждого конкретного типа радиоприемника. Элементы, из которых состоит всякий радиоприемник, можно разбить на два основных типа: усилители электрических колебаний и преобразователи электрических колебаний. С назначением и устройством усилителей мы уже подробно знакомы и поэтому нам предстоит рассмотреть, главным образом, преобразователи и их сочетание с усилителями. Наиболее важным и обязательным во всяком приемнике преобразователем колебаний является детектор, роль которого нам уже известна. Детектор преобразует модулированные колебания высокой частоты таким образом, что из них выделяются колебания низкой частоты, соответствующие форме модуляции. Отсюда уже ясно наиболее простое сочетание детектора с усилителями. До детектора может быть применено усиление высокой частоты, а после него усиление низкой частоты. Степень усиления, а следовательно, и число каскадов усиления высокой и низкой частоты зависят от того, какие задачи ставятся перед приемником. Общее усиление, которое должен дать приемник, определяется тем, какова сила сигналов, которые он должен принимать, и какова громкость звуков, которые он должен создавать. Однако, при этом обычно нельзя все требуемое общее усиление получить только за счет усиления низкой частоты и в большинстве случаев приходится применять как то, так и другое.

Дело в том, что ни один детектор не может детектировать сколь угодно слабые колебания — для всякого детектора

существует порог детектирования. Действительно, детектирование обусловлено неодинаковой проводимостью детектора в двух направлениях. Но ведь характеристика всякого реального детектора представляет собой какую-то плавную кривую и на малом участке напряжений наклон ее не может заметно измениться. А как мы знаем, именно наклон характеристики определяет сопротивление проводника. Поэтому на малых участках характеристики, т. е. при малых подводимых напряжениях, сопротивление детектора в двух направ-



Фиг. 136.

лениях будет почти одинаково и он не будет детектировать С другой стороны, детектор не может пропускать сильных токов и поэтому сразу после детектора нельзя получить колебаний большой мощности. Поэтому обычно приходится до детектора применять усиление высокой частоты, чтобы довести напряжение принимаемых сигналов до величины, при которой детектор уже хорошо детектирует, а после детектора применять усиление низкой частоты, чтобы довести мощность колебаний низкой частоты до величины, при которой будет достаточно громко работать репродуктор. Следовательно, типичная «блок-схема» лампового приемника с детектором в качестве преобразователя колебаний имеет вид, изображенный на фиг. 136.

Конечно, в некоторых специальных случаях может отсутствовать либо усиление высокой частоты, либо усиление низкой частоты. Например, если приемник предназначен для приема находящейся поблизости мощной станции, то приходя

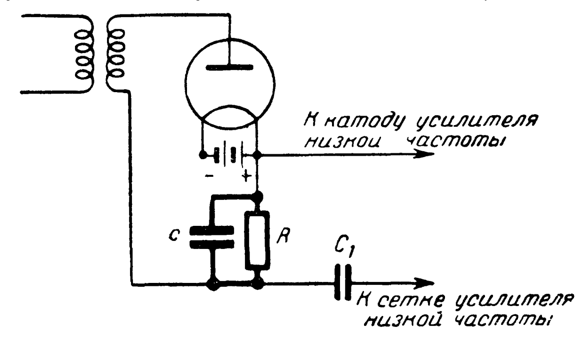
щие из антенны сигналы будут достаточно сильны и детектор сразу сможет их продетектировать без предварительного усиления на высокой частоте. Или если приемник предназначен для работы на телефон, то в нем часто может отсутствовать усиление низкой частоты, так как ламповые детекторы дают токи, достаточные для нормальной работы чувствительного телефона. Но детектор является обязательным преобразовательным элементом всякого приемника, в том числе и лампового В ламповом приемнике нецелесообразно применять кристаллический детектор, так как ламповый детектор обладает целым рядом преимуществ. И поскольку в ламповом приемнике все равно уже есть лампы, целесообразно либо одну из них попутно заставить выполнять роль детектора, либо даже применить специальную детекторную лампу. Нам предстоит поэтому подробно рассмотреть работу лампы в качестве детектора. Мы уже упоминали, что в качестве детектора может быть применен диод. Мы начнем рассмотрение с процессов детектирования в диоде, как наиболее простых.

61. ДИОДНОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ

Характеристика диода, с которой мы уже знакомы (фиг. 76), в начальной точке, т. е. при отсутствии постоянного напряжения на аноде (точка *0* на фиг. 76), близка к характеристике идеального детектора. В самом деле, в этой точке диод обладает односторонней проводимостью. Поэтому если к аноду и катоду диода подвести напряжение высокой частоты (фиг. 137а), то в цепи диода мы получим ту же картину, как в рассмотренном нами выше (§ 19) случае детектирования с помощью идеального детектора. В цепи диода будут получаться отдельные импульсы одного направления и средняя сила тока, соответствующая этим импульсам, будет изменяться в соответствии с изменениями амплитуды модулированных колебаний. Иначе говоря, в цепи диода появится, помимо постоянного тока и колебаний высокой частоты, переменный ток низкой частоты, по форме соответствующий модуляции. Этот переменный ток будет создавать падение напряжения на сопротивлении R и с этого сопротивления напряжение низкой частоты может быть снято для дальнейшего усиления в усилителе низкой частоты. Чтобы падение напряжения на сопротивлении R, обусловленное постоянным током в цепи диода, не попадало на сетку лампы низкой частоты, на пути ставится переходной конденсатор C_1 Для того, чтобы на-

пряжение высокой частоты, которое должно быть подведено к диоду, не испытывало падения на сопротивлении R, параллельно с этим последним включен конденсатор C, открывающий путь токам высокой частоты, но представляющий большое сопротивление для токов низкой частоты (назначение этого конденсатора и требования, к нему предъявляемые, совершенно те же, что и к блокировочному конденсатору в цепи детекторного приемника).

Чувствительность диодного детектора тем больше, чем больше разница в сопротивлении в обе стороны от рабочей

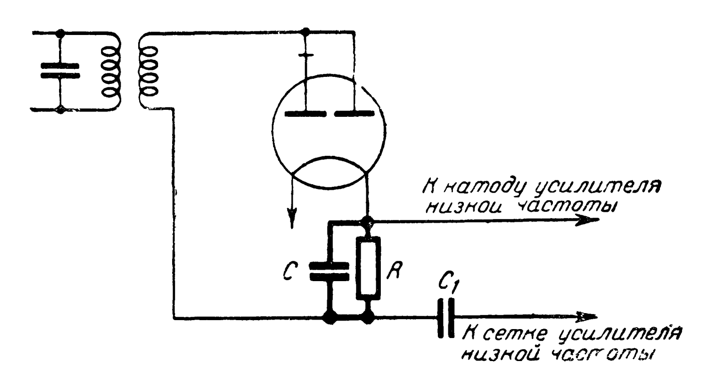


Фиг. 137а.

точки, иначе говоря, чем быстрее возрастает ток при увеличении положительных напряжений на аноде, т. е. диод должен давать возможно больший ток при малых напряжениях на аноде. Это достигается тем, что анод диода располагают возможно ближе к катоду. Такие миниатюрные детекторные диоды выпускаются нашей промышленностью. Чаще всего они выполняются в виде двойных диодов, т. е. двух диодов в одном баллоне. Такие двойные диоды удобны для некоторых специальных схем. В обычных же схемах диодного детектирования, если второй диод не используется для какой-либо иной цели, например регулировки чувствительности (см. ниже), оба анода соединяются вместе и диоды работают параллельно. Схема такого включения двойного диода приведена на фиг. 137б. В этой схеме и во многих следующих мы, чтобы не загромождать чертежа, не будем изображать цепей накала, а в некоторых случаях и цепей высокого напряжения.

Наряду с двойными диодами выпускаются диоды, объединенные с триодом — двойной диод-триод — или с другими типами ламп в одном баллоне. При этом, например, диод

используется для детектирования, а триод — для дальнейшего усиления продетектированных колебаний низкой частоты. Схемы включения этих ламп, объединенных в одном баллоне, ничем не отличаются от схем включения таких же ламп в отдельных баллонах.



Фиг. 137б.

Диодный детектор все же обладает не очень большой чувствительностью—он хорошо начинает детектировать, начиная от напряжений порядка 0.5 *в*. Поэтому применять диод в качестве детектора целесообразно в тех случаях, когда предварительно сигналы достаточно усилены. Непосредственно после усиления высокой частоты напряжения обычно бывают невелики и диодный детектор применять невыгодно. Но в супергетеродинах (см. ниже) в качестве второго детектора очень часто применяется диод, так как во второй детектор сигналы приходят после очень большого усиления.

62. СЕТОЧНОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ

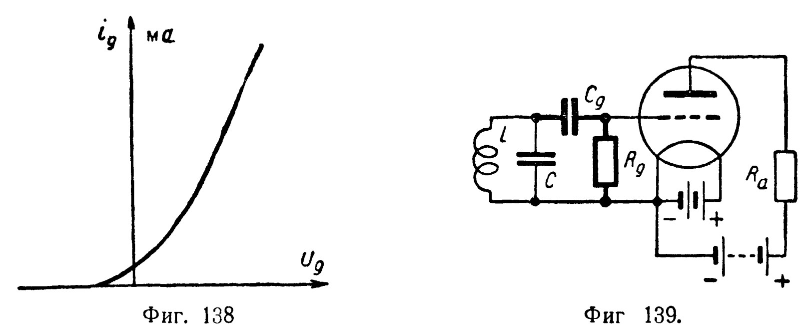
Особенно часто применяется детектирование током сетки, так как оно обладает целым рядом преимуществ по сравнению с другими методами детектирования. Поэтому рассмотрению сравнительно сложных процессов, происходящих в ламповом детекторе с детектированием током сетки, мы уделим особое внимание.

Как мы уже знаем, некоторая часть электронов, пролетающих мимо сетки от нити к аноду электронной лампы, при известных условиях может попадать на сетку и через цепь

сетки снова возвращаться на нить. Таким образом, в цепи сетки может существовать электрический ток. Так как электроны попадают на сетку внутри лампы, то во внешней цепи они будут двигаться всегда только от сетки к нити и, следовательно, во внешней цепи может существовать ток только одного направления — от нити к сетке.

Условия для возникновения сеточного тока мы выше формулировали так, что ток в цепи сетки мог бы появляться только при существовании положительных напряжений на ней. Однако, это не совсем точно. Дело в том, что электроны, вылетающие из нити, обладают некоторой начальной скоростью, т. е. некоторым запасом энергии. Этот запас энергии позволяет им преодолеть отталкивающее действие сетки даже в том случае, когда сетка заряжена отрицательно, конечно, при условии, что этот заряд невелик и энергия электронов достаточна для того, чтобы преодолеть тормозящее действие сеточного отрицательного напряжения. Очевидно, что если мы выберем отрицательное напряжение очень большим, то электроны не смогут преодолеть его тормозящего действия и на сетку действительно попадать не будут. В случае же если к сетке подведено небольшое отрицательное напряжение (порядка десятых долей вольта) и тем более, если на сетке нет вообще никакого напряжения, часть электронов, вылетающих из нити, будет попадать на сетку и в цепи будет существовать некоторый ток. Величина этого тока будет тем больше, чем больше окажется электронов, которые в состоянии будут преодолеть отталкивающее действие отрицательного напряжения на сетке, т. е. чем больше будет электронов, обладающих достаточно большими начальными скоростями при вылете из нити. Скорость, с которой вылетают электроны из нити, зависит от температуры нити. Конечно, не все электроны вылетают из нити с одинаковой скоростью. Среди них есть и более медленные и более быстрые. Но каждой определенной температуре соответствует некоторая определенная средняя скорость вылета электронов. Это значит, что большая часть электронов будет вылетать из нити со скоростями, близкими к средней скорости, и только небольшая часть электронов будет обладать скоростью, значительно большей или меньшей, чем средняя. Но все же, даже при отрицательных небольших напряжениях на сетке, всегда найдется некоторое количество достаточно быстрых электронов, которые смогут попасть на сетку. При этом, чем больше будет отрицательное напряжение, тем больше должны быть скорости электронов для того,

чтобы эти электроны могли попасть на сетку. Но число электронов, обладающих превосходящей определенное значение скоростью, будет тем меньше, чем больше эта скорость. Следовательно, при увеличении отрицательного напряжения число электронов, попадающих на сетку, а вместе с тем и ток в цепи сетки будут уменьшаться, пока в конце концов ток не прекратится совсем. Это произойдет тогда, когда скорости, необходимые для того, чтобы электрон попал на сетку, станут настолько велики, что среди вылетающих из нити электронов почти не будет встречаться таких, которые бы обладали этой



Фиг. 138

Фиг 139.

скоростью. Поэтому ясно, что ток в цепи сетки прекращается не при нулевом напряжении на сетке, а при некотором определенном отрицательном напряжении и, следовательно, начало характеристики токов сетки заходит в область отрицательных напряжений (фиг. 138). Рассмотрим, какие явления происходят в цепи сетки, когда эта цепь заблокирована (преграждена) конденсатором C_g (фиг. 139).

В момент включения лампы конденсатор, очевидно, не заряжен, следовательно, напряжения на сетке нет и часть электронов с нити по указанным выше причинам начнет попадать на сетку. Однако, обратный путь им к нити прегражден конденсатором. Электроны будут заряжать этот конденсатор, причем на той обкладке, которая присоединена к сетке, появится отрицательный заряд, следовательно, на сетке появится некоторое отрицательное напряжение. При увеличении заряда конденсатора отрицательное напряжение будет все больше и больше возрастать и все меньшее и меньшее число новых электронов сможет попадать на сетку. В конце концов это напряжение возрастет настолько, что почти не будет электронов, обладающих скоростью, достаточной для того, чтобы преодо-

леть его. Электроны перестанут попадать на сетку и сетка останется под некоторым постоянным отрицательным напряжением.

Посмотрим теперь, что произойдет, если мы помимо блокировочного конденсатора C_g включим омическое сопротивление R_g — утечку сетки («гридлик»)[1] (фиг. 139). Через это омическое сопротивление часть электронов, попадающих на сетку, сможет снова возвращаться на нить, следовательно, присутствие этого сопротивления будет уменьшать заряд конденсатора и вместе с тем понижать отрицательное напряжение на сетке. Если это сопротивление будет очень велико, то только небольшая часть заряда конденсатора может через это сопротивление стечь на нить и, следовательно, напряжение на сетке только немного понизится. Если же сопротивление это будет невелико, то значительная часть электронов будет через него возвращаться на нить и вместе с тем значительно уменьшится и отрицательное напряжение на сетке. Очевидно, что при данной величине сопротивления R_g установится некоторое подвижное равновесие. Через это сопротивление будет возвращаться на нить как раз столько электронов, сколько электронов при данном заряде конденсатора и соответствующем напряжении на сетке может осесть на сетку. Таким образом, зашунтированный сопротивлением конденсатор в цепи сетки обуславливает некоторое отрицательное напряжение на сетке (и вместе с тем некоторый сеточный ток), величина которого вполне определяется величиной включенного сопротивления. Чем больше сопротивление утечки R_g, тем больше отрицательное напряжение, устанавливающееся на сетке.

Выясним теперь, что будет происходить в цепи сетки, если к ней будут подводиться гармонические (синусоидальные) колебания. Прежде чем приступить к рассмотрению этого вопроса, отметим следующее. Мы знаем, что при изменении напряжения на сетке вместе с тем будет изменяться и сила тока в цепи анода, причем зависимость между этими изменениями будет характеризоваться основными параметрами лампы (крутизной и коэффициентом усиления), а также свойствами той цепи, которая присоединена к аноду лампы. Однако, для простоты мы не будем рассматривать изменений в анодном токе. Мы выясним, как будет изменяться напряжение на сетке, и этим ограничимся, так как мы знаем, что из-

---

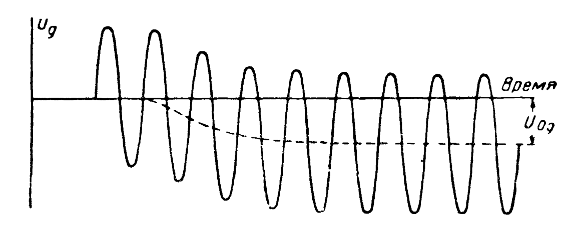
[1] Обычно «гридликом» называют не только утечку R_g, а всю комбинацию из утечки R_g и конденсатора C_g.

менениям напряжения на сетке будут соответствовать такого же характера изменения анодного тока, пока лампа работает на прямолинейном участке характеристики анодного тока. А при сеточном детектировании лампа всегда должна работать на прямолинейном участке характеристики анодного тока. Следовательно, установив характер изменений напряжения на сетке, мы тем самым установим и характер изменений анодного тока. Величина же этих изменений, зависящая от параметров лампы, нас пока интересовать не будет.

Итак, посмотрим, что будет происходить в цепи сетки лампы с гридликом, если мы к ней будем подводить незатухающие колебания высокой частоты. Так как конденсатор сетки представляет для этих колебаний малое сопротивление, то переменные напряжения будут попадать через конденсатор на сетку. Вследствие несимметрии сеточной характеристики при положительных полупериодах сеточный ток будет больше возрастать, чем при отрицательных полупериодах уменьшаться, и средний сеточный ток возрастет. Конденсатор будет постепенно заряжаться, и отрицательное напряжение на сетке будет возрастать. Продолжаться это будет до тех пор, пока в цепи сетки не установится некоторое подвижное равновесие, точно так же, как и в том случае, когда колебания на сетку не подавались. Величина установившегося на сетке отрицательного напряжения определяется из следующих соображений. Количество электронов, попадающих на сетку, должно быть при установившемся равновесии как раз равно количеству электронов, проходящих через сопротивление R_g на нить. Следовательно, под действием сигналов отрицательное напряжение будет повышаться до тех пор, пока результирующее положительное напряжение, получающееся на сетке во время положительных полупериодов колебаний, не понизится до такой величины, при которой на сетку будет садиться как раз то количество электронов, которое проходит через сопротивление на нить. Процесс этот изображен графически на фиг. 140. Вследствие увеличения отрицательного напряжения на сетке кривая незатухающих колебаний опустится ниже горизонтальной оси настолько, что только верхушки ее будут лишь немного выступать сверху над осью. То расстояние, на которое опустится кривая колебаний ниже горизонтальной оси, как раз будет равно тому отрицательному напряжению U_{og} , какое устанавливается на сетке благодаря присутствию гридлика. Как мы уже выяснили, это отрицательное напряжение будет тем больше, чем больше сопротивление

в цепи сетки. Но при данной величине сопротивления величина того отрицательного напряжения на сетке, на которое сместится вниз кривая колебаний, будет также вполне определенной. Следовательно, колебания высокой частоты, действующие на сетку лампы, будут благодаря присутствию гридлика вызывать появление на сетке лампы некоторого постоянного отрицательного напряжения, а вместе с тем уменьшение средней величины анодного тока.

В этом и состоит процесс детектирования немодулированных колебаний. Высокочастотные колебания постоянной амплитуды вызывают появление постоянного напряже-



Фиг. 140.

ния на сетке лампы. Ясно, что детекторный эффект в рассматриваемом случае обусловлен тем, что изменение сеточного тока происходит по-разному по обе стороны от рабочей точки. Следовательно, детектирование получается вследствие несимметричной проводимости участка сетка — нить, т. е. несимметрии в характеристике тока сетки. Детекторный эффект в рассматриваемом случае, как мы видим, заключается в том, что подводимые напряжения колебаний высокой частоты создают некоторое постоянное смещение на сетке лампы. Следовательно, чем больше будет это смещение при данных амплитудах напряжений высокой частоты, тем больше будет детекторный эффект.

Прежде всего ясно, что детекторный эффект будет тем больше, чем больше сопротивление, включенное в цепь сетки. Очевидно, что если это сопротивление будет мало, то через него сможет проходить большое количество электронов, следовательно, сетка в течение значительной части положительных полупериодов будет находиться под положительным напряжением. Но это значит, что кривая колебаний лишь немного опустится ниже горизонтальной оси, т. е. что постоянное отрицательное смещение, создаваемое сигналами, будет

невелико. Поэтому чем больше будет сопротивление, включенное в цепь сетки, тем больше будет детекторный эффект. Однако, включать в цепь сетки чересчур большие сопротивления нельзя, так как это ведет к затруднениям, о которых мы будем говорить в дальнейшем.

Необходимо также иметь в виду, что на величине детекторного эффекта сказывается постоянное смещение на сетке лампы и, в частности, присоединение второго конца утечки сетки R_g к той или другой точке цепи накала. Прежде всего ясно, что если мы присоединим к сетке некоторое достаточно большое постоянное отрицательное напряжение, то ток в цепи сетки прекратится вовсе, а вместе с тем прекратится и детектирование током сетки. При отрицательном смещении на сетке лампа вовсе перестает детектировать или, во всяком случае, детектирует плохо. Наоборот, выгодно давать на сетку некоторое небольшое положительное смещение. При увеличении этого смещения величина детекторного эффекта сначала возрастает, а затем, после некоторого значения, снова начинает падать. Происходит это потому, что при положительном напряжении рабочая точка переходит в область больших сеточных токов, для которых характеристика имеет уже почти прямолинейную форму—несимметрия становится меньше и поэтому детектирование ухудшается.

Мы рассмотрели вопрос о детектировании немодулированных колебаний. Все те выводы, которые были нами сделаны для этого случая, в основном могут быть применены и для случая модулированных колебаний, и вот почему. Модулированные колебания мы можем рассматривать как колебание с амплитудой, меняющейся медленно по сравнению с периодом высокой частоты, так как эти изменения амплитуды происходят с звуковой частотой. В таком случае, если напряжение на обкладках конденсатора гридлика будет устанавливаться достаточно быстро по сравнению с звуковой частотой, то оно будет все время следовать за изменениями амплитуды напряжений модулированных сигналов. Это значит, что постоянное напряжение, возникающее под действием сигналов на конденсаторе, будет изменяться с частотой модуляции и таким же образом будет изменяться и анодный ток детекторной лампы. В анодной цепи детекторной лампы появится частота модуляции, т. е. будут повторяться те звуковые колебания, которыми промодулированы колебания передатчика. Но это правильно только при условии, что напряжения на обкладках конденсатора гридлика устанавливаются достаточно

быстро по сравнению с частотой модуляции. Если бы этого не было, то смещающие напряжения не могли бы точно следовать за изменением амплитуд и это привело бы к искажениям приема. Скорость установления напряжений на обкладках конденсатора, замкнутого на сопротивление, характеризуется временной постоянной этого контура, т. е. произведением емкости и сопротивления контура. Следовательно, требование, чтобы смещающие напряжения на обкладках конденсатора успевали устанавливаться достаточно быстро, сводится к тому, что временная постоянная гридлика не должна быть велика по сравнению с самыми малыми периодами передаваемой звуковой частоты. Этими малыми периодами принято обычно считать одну десятитысячную долю секунды, так как при художественной передаче считается необходимым передавать частоты до 10 000 *гц*. Следовательно, временная постоянная гридлика должна быть не более десятитысячных долей секунды. Этим ставится граница величины сопротивления утечки. Если мы возьмем емкость конденсатора гридлика в 270 *см*, т. е. $3 \cdot 10^{-10}$ *ф* (для подсчета временной постоянной емкости и сопротивления должны быть взяты в практических единицах), то при сопротивлении утечки в 600 000 *ом* мы получим временную постоянную примерно в $2 \cdot 10^{-4}$ сек. Эта временная постоянная находится уже на пределе допустимого. При бóльших временных постоянных искажения приема телефонных станций будут уже неизбежны. Поэтому при приеме модулированных колебаний не следует применять чересчур большие сопротивления утечки. Это имеет смысл делать только при приеме очень слабых сигналов и при том условии, что любитель заинтересован больше в самой возможности приема, чем в отсутствии искажений. Для неискаженного же приема сопротивления утечки свыше 0,5 мегома применять не следует. Правда, в случае положительных напряжений на сетке лампы сам участок сетка — нить лампы обладает определенной проводимостью, и сопротивление этого участка включено параллельно сопротивлению утечки. Тем самым при наличии положительных напряжений на сетке уменьшается временная постоянного контура и частично устраняется опасность искажений.

Для уменьшения временной постоянной можно также уменьшать емкость конденсатора гридлика. Однако, для того, чтобы на сетку лампы попадали достаточно большие напряжения высокой частоты, нужно, чтобы конденсатор гридлика представлял малое сопротивление для этой частоты. Поэтому

при волнах радиовещательного диапазона нельзя брать слишком малой емкость конденсатора гридлика. Уменьшение его емкости ниже 150 или 100 *см* уже невыгодно, потому что оно связано с уже заметным уменьшением напряжения на сетке и с ухудшением условий детектирования.

Таким образом, выбор постоянных гридлика для приема радиовещания сводится к маневрированию между двумя опасностями — опасностью искажений при больших емкостях и сопротивлениях, с одной стороны, и опасностью ослабления слышимости при малых емкостях и сопротивлениях, с другой стороны. С этой точки зрения весьма удобным является переменный мегом, который позволяет подобрать подходящее сопротивление утечки для каждого данного случая и для тех требований, которые в данный момент предъявляют к приему.

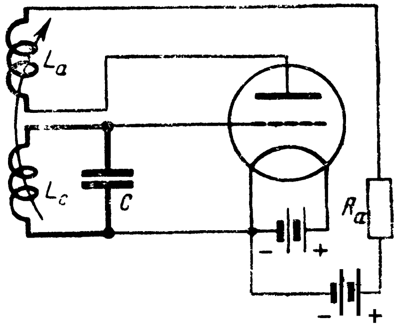
63. ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ТОКОМ АНОДА

Характеристика анодного тока трехэлектродной лампы в начале и в конце (при малых токах и вблизи тока насыщения) обладает достаточно резко выраженной несимметрией и поэтому анодный ток может быть использован для детектирования. Для получения детекторного эффекта нужно задать такое смещение на сетке, чтобы рабочая точка переместилась на нижний или верхний изгиб характеристики. Принципиально можно осуществить детектирование как на нижнем изгибе, так и на верхнем. Но использование нижнего сгиба более выгодно по следующим причинам. Для работы на верхнем изгибе на сетку лампы нужно подавать положительное смещение, вследствие чего в сеточной цепи неизбежно возникнет ток, который сильно нагрузит приемный контур, включенный в цепь сетки. А это, как мы знаем, ухудшает условия работы приемного контура. Кроме того, наличие сеточного тока может привести к возникновению сеточного детектирования, которое может вызвать искажения приема. Вообще в тех случаях, когда происходит детектирование током анода, нужно тщательно избегать возможности сеточного детектирования, и наоборот, при детектировании током сетки нужно тщательно избегать анодного детектирования (для этого и нужно работать на прямолинейной части характеристики анодного тока, о чем мы уже говорили выше). Одновременно сеточное и анодное детектирования нежелательны потому, что эти два эффекта либо могут друг друга компенсировать, либо могут давать сильные искажения приема. По сравнению с сеточным

детектированием анодное детектирование менее чувствительно к слабым сигналам, но зато при детектировании сильных сигналов анодное детектирование дает меньше искажений. Поэтому анодное детектирование применяется иногда для детектирования сильных сигналов Однако, для этой цели теперь обычно применяют либо диодное детектирование, либо так называемое «мощное сеточное» детектирование, которое принципиально ничем не отличается от обычного сеточного детектирования, рассмотренного нами выше. Все различие заключается лишь в таком подборе величин сопротивления и емкости гридлика, при котором большие напряжения детектируются без заметных искажений.

64. РЕГЕНЕРАТОР

Рассмотрим схему, приведенную на фиг. 141. Если в контуре $L_c C$ происходят какие-либо колебания, то в анодной цепи лампы будут происходить изменения силы анодного тока, вызванные теми изменениями напряжения, которые получаются на зажимах контура вследствие наличия в нем колебаний. Если мы сблизим между собой катушки L_a и L_c настолько, что изменение силы тока в анодной цепи будет действовать на катушку колебательного контура, то помимо существующих в колебательном контуре напряжении в нем будут создаваться добавочные напряжения, индуктируемые изменениями силы тока в анодном контуре.



Фиг. 141.

Эти добавочные напряжения по своему характеру (форме и частоте) будут совпадать с напряжениями в колебательном контуре и могут от них отличаться только по амплитуде и направлению. Мы можем подобрать направление витков в анодной катушке таким образом, чтобы напряжения, возникающие в катушке L_c из-за колебаний в контуре, совпадали по направлению с напряжениями, наведенными изменениями анодного тока. Очевидно, что если в какой-нибудь момент колебания в контуре $L_c C$ создают на сетке лампы положительное

напряжение, то вследствие этого сила тока в анодной цепи должна возрастать. Следовательно, мы должны так выбрать направление витков анодной катушки L_a, чтобы при возрастании тока в этой катушке на том конце катушки L_c колебательного контура, который присоединен к сетке, индуктировалось также положительное напряжение. В таком случае напряжения контура и напряжения, индуктируемые благодаря обратному действию анодной цепи на сеточный контур, будут складываться и суммарное напряжение будет больше, чем то, которое существовало бы на сетке лампы, если бы не было этой обратной связи анодной цепи с цепью сетки. Итак, мы видим, что при помощи лампы и обратной связи анодного контура с сеточным можно при известных условиях добиться того, чтобы в контуре сетки получались напряжения бо́льшие, чем те, которые существовали бы в этом контуре в отсутствии обратной связи. В этом и заключается эффект о б р а т н о й с в я з и или р е г е н е р а ц и и. Условия, при которых могут быть достигнуты такие результаты, сводятся к тому, чтобы напряжения в контуре и напряжения от обратной связи совпадали по направлению, т. е. чтобы витки анодной и сеточной катушек имели нужное направление. Если мы направление витков в одной из этих катушек изменим на обратное, то оба напряжения в сеточном контуре окажутся уже противоположными и обратное действие будет уменьшать амплитуды колебаний в сеточном контуре, а не увеличивать их. Это обстоятельство необходимо всегда иметь в виду, ибо при неправильном направлении витков катушек мы, конечно, не сможем получить нужного эффекта.

Схема обратной связи (регенерации), которую мы рассмотрели, носит название схемы с индуктивной обратной связью.

Существует целый ряд способов заставить изменения анодного тока действовать на сетку лампы. Некоторые другие способы мы рассмотрим в дальнейшем, а пока остановимся подробнее на принципе действия и особенностях схемы с обратной связью.

Действие обратной связи мы можем рассмотреть с несколько иной точки зрения. Вследствие наличия сопротивления в колебательном контуре в этом контуре происходят потери энергии. Та энергия, которую создает в контуре внешняя э. д. с., расходуется именно на пополнение этих потерь. При этом, чем больше будет сопротивление колебательного контура, тем больше в нем будет затухание и, следовательно, тем

меньше при данной внешней силе будут получаться токи в этом контуре. Но помимо той энергии, которую приносит с собой внешняя сила, мы имеем в контуре с лампой местный источник энергии — анодную батарею, которая доставляет энергию в анодную цепь лампы. Мы можем считать, что при известных условиях (при отсутствии тока в цепи сетки) на управление анодным током не расходуется энергия из цепи сетки. Следовательно, колебания в цепи сетки только управляют той энергией, которую отдает анодная батарея. Благодаря обратной связи, очевидно, возможен переход части энергии обратно в колебательный контур. При определенном положении катушек обратной связи можно достигнуть того, чтобы энергия анодного контура все время частично передавалась в контур сетки. При этом потери в цепи сетки будут компенсироваться уже не только той энергией, которую приносит с собой внешняя э. д. с., но частично и той энергией, которую выделяет анодная батарея. Благодаря этому контур в цепи сетки будет вести себя по отношению к внешним колебаниям, как контур с меньшими потерями, чем в отсутствии обратной связи. Мы можем считать поэтому, что колебательный контур в цепи сетки обладает меньшим затуханием, чем в отсутствии обратной связи, и, следовательно, что действие обратной связи сводится к уменьшению затухания контура для частоты, на которую он настроен. Условие, при котором энергия из анодного контура переходит в контур сетки и частично компенсирует потери в этом контуре, это и есть то условие, которые мы ввели выше, именно: совпадение по направлению э. д. с., обусловленной колебаниями в контуре, и э. д. с., возникающей в контуре благодаря обратной связи.

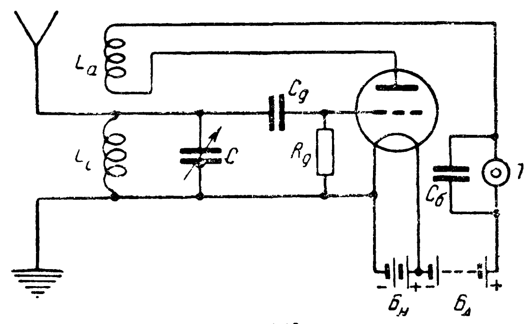
Если лампа работает на прямолинейном участке характеристики, то на этом прямолинейном участке сила тока в анодной цепи пропорциональна напряжению на сетке лампы и, следовательно, напряжения, создаваемые обратной связью в контуре сетки, также пропорциональны тем напряжениям, которые создаются внешней э. д. с. На малом участке характеристики мы можем всегда считать, что она прямолинейна. Поэтому для слабых колебаний в цепи сетки действие обратной связи сводится к тому, что оно как бы в определенное известное и примерно постоянное число раз повышает напряжения, получающиеся на сетке лампы, или, что то же самое, как бы в определенное число раз понижает затухание колебательного контура в цепи сетки. Но если напряжения на зажимах сетки будут достаточно велики, то характери-

стику лампы мы уже не можем считать прямолинейной. В этом случае прямой пропорциональности между напряжениями, создаваемыми обратной связью, и напряжениями, вызванными внешней э. д. с., уже не будет существовать Действие обратной связи будет меньше сказываться при сильных внешних э. д. с., чем при слабых, так как эффект, вызванный обратной связью, зависит от усиления, даваемого лампой. Поэтому чем круче характеристика, тем сильнее действие обратной связи при том же самом коэффициенте связи между анодной и сеточной катушками. Но при больших напряжениях в цепи сетки мы неизбежно будем заходить на близкие к началу и к току насыщения, т. е. более пологие участки анодной характеристики. Вследствие этого «средняя крутизна» анодной характеристики уменьшится, а вместе с тем уменьшится эффект, даваемый обратной связью. Действие обратной связи зависит от величины напряжений, подводимых к сетке лампы. Если эти напряжения малы, то эффект обратной связи (т. е. увеличение напряжений в контуре сетки благодаря обратной связи) велик, если же эти напряжения велики, то эффект обратной связи мал. Это обстоятельство является весьма существенным при определении свойств регенератора и его преимуществ в тех или других условиях приема.

Из всего сказанного легко определить, в чем заключаются основные преимущества обратной связи. Так как благодаря обратной связи как бы уменьшается затухание колебательного контура в цепи сетки, т. е. приемного контура, то эффект обратной связи дает все те преимущества, которые дает всякое уменьшение затухания приемного контура. Эти преимущества, как мы знаем, заключаются, во-первых, в повышении чувствительности приемника, а, во-вторых, в увеличении остроты его настройки. При этом с помощью обратной связи можно достигнуть такого кажущегося уменьшения затухания в контуре, которое совершенно недостижимо при помощи средств, применяемых для уменьшения затухания контуров без электронной лампы (увеличения диаметра провода, улучшения качества изоляции и т. д.). Эффект обратной связи может повысить чувствительность и избирательность схемы во много раз. Однако, как мы уже указывали, это рассуждение правильно только для слабых сигналов, при которых мы можем считать характеристику лампы прямолинейной. Чем больше будут напряжения на сетке лампы, тем дальше будем мы заходить на пологие части анодной характеристики и тем меньше будет эффект, даваемый обратной связью. При очень

сильных сигналах может случиться, что обратная связь вообще не будет давать сколько-нибудь заметного эффекта.

Мы рассмотрели, какими свойствами обладает схема с обратной связью как усилитель высокой частоты. Но обычно эта же лампа одновременно используется как сеточный детектор, для чего в цепь сетки включается гридлик $R_g C_g$ (фиг. 142). При этом в анодной цепи помимо тока высокой частоты появляется и ток низкой (звуковой) частоты. Оба процесса — регенерации и детектирования — протекают неза-



Фиг. 142.

висимо. Если в анодную цепь включить телефон *T*, зашунтированный небольшой емкостью $C_б$ (фиг. 142), которая создает путь для проходящих в анодной цепи токов высокой частоты, то токи низкой частоты будут проходить через обмотки телефона и в телефоне будут слышны звуки принимаемой передачи, т. е. рассматриваемая схема представляет собой одноламповый р е г е н е р а т и в н ы й п р и е м н и к, или р е г е н е р а т о р. Такие приемники получили весьма широкое распространение среди радиолюбителей. Для получения громкоговорящего приема к регенератору присоединяют еще один или два каскада усиления низкой частоты.

Из сказанного ясно, что регенеративный приемник обладает гораздо большей чувствительностью, чем такой же приемник без обратной связи. Этим и было вызвано широкое распространение приемников с обратной связью. Однако, основные преимущества регенератора — чувствительность к слабым сигналам и острота настройки — будут тем заметнее, чем слабее принимаемые сигналы. Из этого ясно, для какой цели следует применять регенератор — для приема слабых сигналов при условии, что слабы н е т о л ь к о п р и н и м а е-

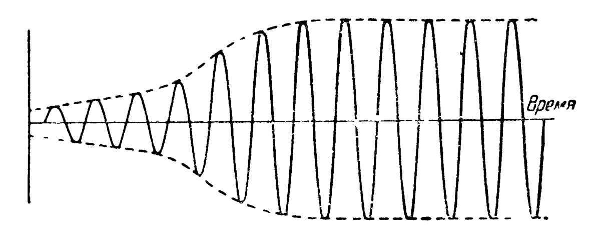
мые сигналы, но и сигналы мешающих станций. Если сигналы мешающих станций очень сильны, то регенератор по отношению к этим сильным сигналам, как мы уже видели, будет вести себя как обычный приемный контур с нормальным затуханием, так как эффект обратной связи при сильных сигналах не будет сказываться. Таким образом, от регенератора можно ожидать большой чувствительности к слабым сигналам и большой остроты настройки, но опять-таки только для слабых сигналов. В случае, если принимаемая или мешающая станция создает в сеточном контуре большие напряжения, то никаких высоких качеств от каскада с обратной связью ни в отношении чувствительности, ни в отношении остроты настройки мы требовать не можем.

В дальнейшем мы более подробно рассмотрим вопрос о том, чем ограничивается чувствительность каскада с обратной связью при слабых сигналах.

65. ВОЗНИКНОВЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ

Действие обратной связи сводится к компенсации части потерь, имеющих место в контуре. Эта частичная компенсация происходит за счет той энергии, которая передается с помощью обратной связи из анодного контура в контур сетки. Чем сильнее будет обратная связь, тем большее количество энергии будет передаваться из анодного контура в сеточный и тем бо́льшая часть потерь в этом контуре будет компенсироваться обратной связью. Другими словами, при увеличении обратной связи кажущееся затухание контура будет уменьшаться. При некоторой достаточно сильной связи, которая называется критической связью (в дальнейшем будет ясно, почему именно она так называется), кажущееся затухание контура для малых амплитуд станет «отрицательным». Это значит, что возникшие в контуре по какой-либо причине колебания будут со временем не затухать, а нарастать. Наступает самовозбуждение колебаний. Во всякой электрической цепи всегда существуют случайные толчки и случайные очень слабые колебания и в контуре с «отрицательным» затуханием эти колебания будут нарастать. Поэтому если мы будем увеличивать обратную связь и доведем ее до такого положения, при котором затухание контура станет отрицательным, то вследствие всяких случайных толчков в контуре каскада с обратной связью возникнут нарастающие собственные колебания. Однако, это нарастание колебаний не

будет продолжаться беспредельно. Легко понять, почему при некоторых амплитудах колебаний дальнейшее их нарастание должно прекратиться. Причина этого та же, что и причина уменьшения чувствительности и остроты настройки при увеличении силы принимаемых сигналов. При нарастании амплитуд переменные напряжения будут все дальше и дальше заходить на верхний и нижний загибы характеристики, т. е. в такие области, где крутизна характеристики уменьшается. При уменьшении крутизны характеристики будет вместе с тем уменьшаться и действие обратной связи. Следовательно, при



Фиг. 143.

достаточно больших амплитудах колебаний энергия, поступающая благодаря обратной связи из анодной цепи в колебательный контур, в некоторой части периода будет настолько мала, что окажется недостаточной для того, чтобы с избытком компенсировать потери в контуре. Поэтому дальнейшее поступление энергии в колебательный контур в эти части периода прекратится и вместе с тем прекратится дальнейшее нарастание амплитуд колебаний.

Таким образом, если обратная связь доведена до величины, большей критической, всегда возникают собственные колебания. Эти колебания сначала нарастают, причем нарастание это происходит очень быстро. При некоторых достаточно больших амплитудах дальнейшее нарастание колебаний прекращается и в контуре устанавливаются незатухающие колебания с постоянной амплитудой. Картина установления колебаний приведена на фиг. 143.

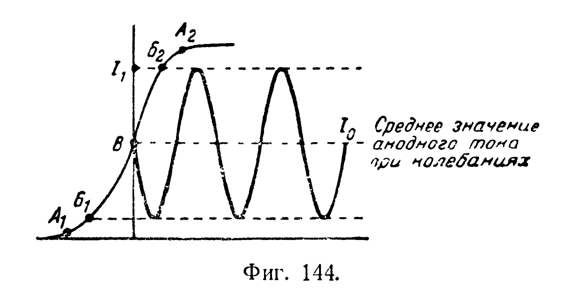
Величина амплитуды установившихся колебаний зависит от свойств контура и лампы и от величины обратной связи. Чем больше обратная связь, тем больше должны быть амплитуды собственных колебаний. Однако, если обратная связь взята уже настолько большой, что колебания в контуре сетки

доходят уже до напряжений, соответствующих, с одной стороны, отсутствию анодного тока в лампе, а с другой — току насыщения, то очевидно, что дальнейшее увеличение обратной связи уже не может вызвать заметного увеличения амплитуд колебаний. Оно может привести только к изменению формы колебаний. Следовательно, при обратной связи могут быть возбуждены собственные незатухающие колебания, амплитуда которых будет увеличиваться при увеличении обратной связи, но не может стать больше некоторой определенной величины, которая зависит от свойств лампы и колебательного контура.

Возникновение собственных колебаний при обратной связи может быть обнаружено различными способами. Сами по себе колебания высокой частоты, конечно, не могут произвести никакого действия на телефон, так как они являются незатухающими колебаниями и после детектирования дадут только идущий в одном направлении и постоянный по величине ток, который не может создать звуков в цепи телефона. Однако, в большинстве случаев возникновение собственных колебаний в каскаде с обратной связью сопровождается некоторыми явлениями, по которым можно обнаружить факт возникновения колебаний. Прежде всего, если в это время принимается какая-либо станция, то помимо колебаний принимаемой станции в приемнике будут существовать и собственные колебания. Их взаимодействие приведет к искажению приема и появлению тона низкой частоты, который будет слышен в телефоне — так называемых биений (см. ниже). В том случае, когда прием не ведется, обнаружить собственные колебания по появлению биений уже невозможно. В этом случае надо пользоваться теми косвенными признаками, о которых мы упомянули и на которых мы сейчас остановимся подробнее

Эти признаки связаны с тем, что возникновение собственных колебаний влияет на величину среднего анодного тока. Представим себе, что лампа установлена в точности на средней точке анодной характеристики, т. е. в точке *В* (фиг. 144). При возникновении колебаний амплитуды их будут нарастать до тех пор, пока уменьшающаяся в обе стороны от точки *В* крутизна характеристики будет все же еще достаточна для поддержания собственных колебаний. Положим, что при данной обратной связи уменьшение крутизны характеристики до точек $Б_1$ и $Б_2$ приведет к тому, что дальнейшее нарастание колебаний прекратится и установятся колебания, которым

будет соответствовать амплитуда силы анодного тока, равная $I_1—I_0$. При увеличении обратной связи нарастание колебаний прекратится при еще меньшей крутизне характеристики, например в точках A_1 и A_2, и, следовательно, в этом случае установятся колебания с большей амплитудой. Но и в том и в другом случае, если лампа находилась в средней точке анодной характеристики и если характеристика относительно этой точки достаточно симметрична, среднее значение анодного тока не изменится, так как изменение силы тока в обе стороны за период будет одно и то же. Следовательно, если режим работы лампы установлен достаточно точно на

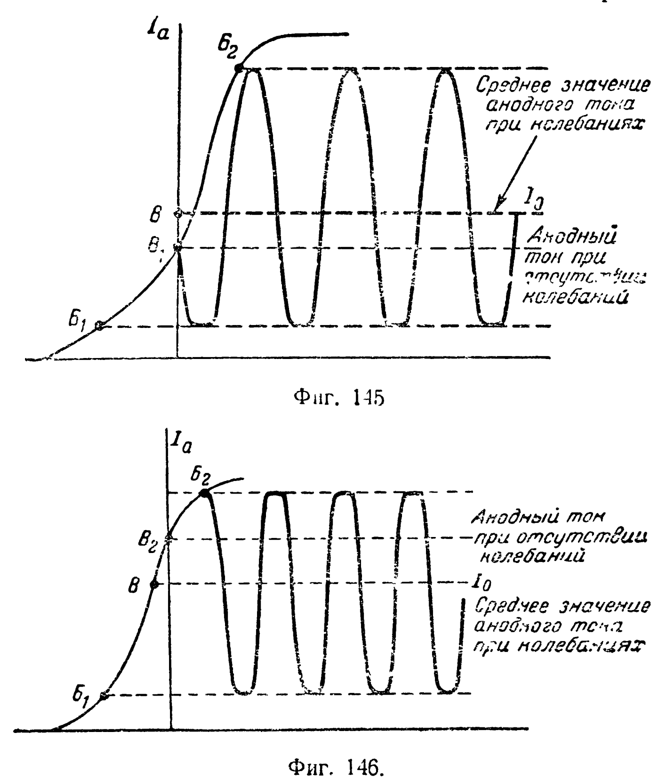


Фиг. 144.

среднюю точку анодной характеристики, то возникновение колебаний никак не отразится на средней величине анодного тока I_0. В случае же, если лампа установлена не на средней точке анодной характеристики, например в точке B_1 на фиг. 145, то картина получится совершенно иная. Изменения анодного тока в обе стороны от среднего значения будут происходить по-разному и, следовательно, среднее значение анодного тока при колебаниях будет уже другим.

Таким образом, в случае, если лампа работает на несимметричной точке характеристики, возникновение колебаний неизбежно связано с изменением величины среднего анодного тока. В рассматриваемом нами случае это изменение соответствует увеличению анодного тока. В том же случае, если бы лампа была установлена на рабочую точку, находящуюся выше средней точки анодной характеристики (фиг. 146), возникновение колебаний вызвало бы уменьшение средней величины анодного тока от величины, соответствующей точке B_2, до величины I_0, соответствующей точке B. Следовательно, если лампа установлена не на среднюю точку анодной характеристики, то возникновение быстро нарастающих собственных колеба-

ний связано с очень быстрым изменением средней величины анодного тока. Это изменение (скачок силы тока) вызывает щелчок в телефоне, включенном в анодную цепь, и по этому признаку может быть обнаружено в указанном случае возникновение собственных колебаний в каскаде. Правда, как



Фиг. 145

Фиг. 146.

мы уже указали, при работе на симметричной точке возникновение собственных колебаний не связано с изменением средней величины анодного тока и, следовательно, не сопровождается щелчком в телефоне. Однако, установить лампу точно на симметричную точку анодной характеристики практически невозможно, и поэтому почти всегда возникновение собственных колебаний сопровождается хотя бы слабым щелчком. Этим же признаком можно воспользоваться для того, чтобы установить, что при данной связи колебания уже существуют.

Для этого нужно подействовать на каскад как-то так, чтобы колебания, если они в нем существуют, прекратились. Для этого достаточно, например, замкнуть пальцами конденсатор колебательного контура. Этим в контур вводится большая утечка, связанная с увеличением потерь и вызывающая поэтому прекращение колебаний, а вместе с тем и щелчок в телефоне. При некоторых условиях возникновение собственных колебаний сопровождается еще более явственным признаком, чем щелчок в телефоне. При достаточно сильной обратной связи и присутствии гридлика в цепи сетки в телефоне, включенном в приемник, появляется тон низкой частоты — вой или свист. Объясняется это тем, что сильно перевозбужденный (т. е. с большой обратной связью) регенеративный каскад с гридликом при наличии тока в цепи сетки создает модулированные колебания. Возникновение собственных колебаний связано обычно еще с одним побочным явлением, именно с изменением силы тока в цепи сетки. Происходит это по той же причине, что и изменение средней величины анодного тока, т. е. вследствие несимметричности сеточной характеристики. Поэтому если даже лампа установлена на среднюю точку анодной характеристики, возникновение колебаний вызывает изменение средней величины сеточного тока, а вместе с тем — при наличии гридлика — и изменение постоянного напряжения на сетке, что, в свою очередь, вызывает изменение средней величины анодного тока.

В тех условиях, в которых обычно работает приемник, одно из указанных нами обстоятельств, вызывающих изменение средней величины анодного тока, всегда имеет место, и потому щелчок в телефоне может достаточно надежно служить признаком возникновения колебаний.

Мы нарочно так подробно остановились на признаках возникновения собственных колебаний в каскаде, так как эти собственные колебания в приемнике, предназначенном для приема телефонных станций, являются нежелательными и их следует избегать. А для того, чтобы их избежать, нужно прежде всего знать, что они возникли.

66. ОСОБЕННОСТИ РЕГЕНЕРАТОРОВ

О том, какой вред причиняют собственные колебания в приемнике с обратной связью при приеме телефонных станций, мы уже вкратце упоминали. Именно, собственные колебания, складываясь с приходящими, создают биения, которые

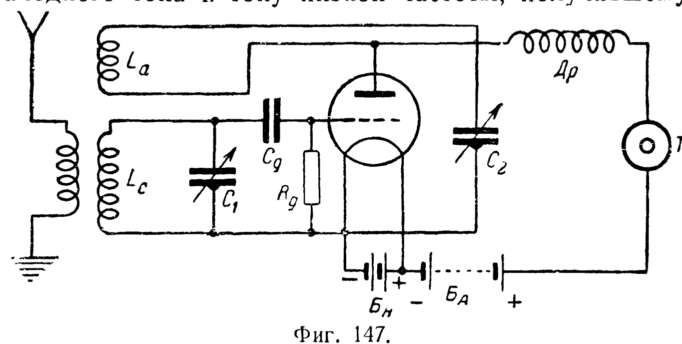
после детектирования вызывают появление свиста или низкого тона в телефоне. Если же настроить приемник так, что частота собственных колебаний точно совпадает с частотой приходящих сигналов, то биений между этими двумя частотами получиться не должно, и тон биений в телефоне исчезнет. Этот случай называется «приемом на нулевых биениях». Однако, осуществление такого приема связано с целым рядом трудностей. Вследствие причин, на которых мы здесь не можем останавливаться, настроить регенеративный каскад так, чтобы его частота в точности совпадала с частотой принимаемых сигналов, можно только при очень слабом перевозбуждении регенератора (т. е. при обратной связи, только чуть-чуть превосходящей критическую). Обычно же настроить регенератор нужным образом не удается, и поэтому хотя тона биений в телефоне не слышно, но прием сопровождается сильными искажениями. Собственные колебания в регенераторе являются вредными не только с точки зрения тех искажений, которые они вносят в прием. Возбужденный регенератор, создающий собственные колебания и связанный с антенной, действует на соседние приемные антенны и создает в них электрические колебания. Если соседние приемники настроены на ту же или почти ту же волну, что и излучающий регенератор, и принимают ту же самую или соседнюю по частоте станцию, что и излучающий регенератор, то воздействие колебаний, излучаемых регенератором, вызывает появление биений в этих приемниках и в них возникает свист или тон низкой частоты. Таким образом, собственные колебания в регенераторе мешают приему не только на этот регенератор, но и на все соседние приемники, и поэтому возникновения собственных колебаний в регенераторе надо тщательно избегать.

Итак, неискаженный и не создающий помех соседним приемникам прием на регенератор возможен только при отсутствии собственных колебаний. С другой стороны, как следует из самого принципа действия регенератора, чем сильнее обратная связь, тем больше чувствительность регенератора. Следовательно, прием на регенератор выгодно вести при обратной связи, возможно близкой к критической — «на пороге генерации». Однако, очень близко к критической связи режим работы оказывается неустойчивым. Достаточно небольших изменений режима лампы или даже случайных толчков, чтобы возникли собственные колебания. Поэтому практически приходится работать, немного не доходя порога генерации. Этим и определяется то наибольшее усиление слабых сигна-

лов, которые может дать регенератор. Чем более плавно меняется обратная связь, тем ближе удается подойти к порогу генерации и тем большую чувствительность получить от регенератора. Кроме того, конечно, важно, чтобы режим работы лампы поддерживался постоянным. При этих условиях регенератор может дать очень большую чувствительность и работать достаточно устойчиво. Однако, опасность помех радиоприему со стороны регенератора все же остается, так как при работе с сильной обратной связью, близкой к критической, колебания могут возникать вследствие случайных причин. Наиболее надежный путь устранения этой опасности — применение каскада предварительного усиления высокой частоты перед регенеративным каскадом. Предварительный каскад, усиливающий колебания, подводимые со стороны сетки, наоборот, ослабляет колебания, идущие со стороны анода. Поэтому обратное излучение регенератора почти устраняется. Вместе с тем каскад предварительного усиления высокой частоты увеличивает чувствительность и избирательность приемника.

Мы подробно рассмотрели распространенную схему регенератора с индуктивной обратной связью, в которой обратная связь осуществляется путем индуктивного воздействия катушки анодного контура на катушку контура сетки. В этой схеме регулировка величины обратной связи производится изменением связи между катушками контуров сетки и анода. Однако, примененный в этой схеме метод осуществления регулировки обратной связи не является единственно возможным. Как само осуществление обратной связи, так и изменение ее величины могут производиться при помощи различных других методов. Принцип действия всех этих схем ничем не отличается от принципа действия схемы, рассмотренной нами. Поэтому мы в качестве примера рассмотрим только еще одну схему регенератора и ограничимся при этом лишь краткими указаниями, так как все то, что было нами сказано относительно свойств и возможностей схемы с индуктивной обратной связью, в полной мере будет относиться и к той схеме, которую мы сейчас рассмотрим. Эта схема — схема с емкостной регулировкой индуктивной обратной связи—приведена на фиг. 147. Обратная связь цепи анода с цепью сетки осуществляется также путем индуктивной связи между катушками, включенными в эти цепи. Разница заключается лишь в способе регулировки величины обратной связи. В схеме фиг. 147 для этой цели включен специальный переменный конденсатор

обратной связи C_2. Величина емкости этого конденсатора определяет сопротивление цепи $L_a C_2$ току высокой частоты, проходящему в цепи анода. Чем больше будет емкость конденсатора C_2, тем меньше сопротивление этой цепи и тем сильнее ток высокой частоты в ней, а следовательно, тем сильнее и обратная связь между анодом и сеткой. Таким образом, увеличение обратной связи достигается увеличением емкости конденсатора C_2. Но присутствие конденсатора C_2 в цепи обратной связи преграждает путь постоянной слагающей анодного тока и току низкой частоты, получившемуся в



Фиг. 147.

результате детектирования. Для того, чтобы предоставить путь этим токам, между анодом и нитью включается параллельно еще одна цепь, в которую введен высокочастотный дроссель *Др* и анодная нагрузка, например, на фиг. 146 телефон *T*. Назначение дросселя заключается в том, чтобы воспрепятствовать прохождению токов высокой частоты через эту параллельную цепь. При отсутствии дросселя токи высокой частоты замкнулись бы через цепь телефона, который обладает сравнительно большой емкостью, и не попали бы в катушку обратной связи. Ясно, что схема фиг. 147 отличается от схемы с индуктивной обратной связью только способом регулировки обратной связи. Плавность регулировки обратной связи при помощи переменного конденсатора позволяет в этой схеме ближе подходить к порогу регенерации, чем в схеме с индуктивной обратной связью.

В заключение рассмотрим вопрос о влиянии свойств лампы на работу каскада с обратной связью. Прежде всего эффект обратной связи зависит от крутизны характеристики лампы и от коэффициента связи между катушками анода и сетки. Этот эффект определяется произведением указанных

двух факторов. Поэтому хотя крутизна характеристики лампы и играет существенную роль в работе каскада с обратной связью, но то или другое изменение крутизны характеристики, вследствие замены одного типа лампы другим или изменения ее свойств, может быть скомпенсировано соответствующим изменением коэффициента связи между анодной и сеточной катушками. Можно считать, что работа каскада вообще не зависит от крутизны характеристики лампы и, следовательно, различные лампы одинаково пригодны для работы в каскаде с обратной связью. Важно лишь, чтобы лампа обладала достаточно прямолинейным участком характеристики, чтобы в некоторых пределах (в которых возможно случайное изменение режима лампы) не изменялась бы величина крутизны характеристики, а вместе с тем и величина обратной связи, и чтобы работа шла на прямолинейном участке анодной характеристики. Это выгодно также и в смысле устранения тех явлений, с которыми связано возникновение собственных колебаний при работе лампы в несимметричной точке и на непрямолинейном участке характеристики. Связанное с работой в таком режиме бурное возникновение колебаний в обратной связи затрудняет плавный подход к порогу генерации. Поэтому со всех точек зрения выгодно работать на среднем прямолинейном участке анодной характеристики лампы.

67. ЛАМПОВЫЙ ГЕНЕРАТОР

Возникновение собственных колебаний в регенераторе при приеме радиотелефонной передачи играет вредную роль. Однако, сам по себе метод получения незатухающих колебаний с помощью лампы с обратной связью имеет огромное значение и нашел себе исключительно важное применение в технике. Прежде всего, те колебания высокой частоты, которыми работают все передающие радиостанции, создаются именно таким способом. В схеме с обратной связью устанавливается связь, превосходящая критическую, и вследствие этого в схеме возникают незатухающие колебания, т. е. она превращается в л а м п о в ы й   г е н е р а т о р. Колебания лампового генератора усиливаются в последующих каскадах передатчика при помощи мощных электронных ламп. Хотя лампы эти по своим размерам, а часто и по конструкции, существенно отличаются от тех усилительных ламп, с которыми приходится иметь дело радиолюбителю, однако принцип их действия как усилителей ничем не отличается от рас-

смотренных нами методов усиления высокой частоты. Вся разница только в мощности, подводимой к лампам и отдаваемой ими в контуры. В то время как мощность, подводимая к аноду обычной усилительной лампы, составляет один или несколько ватт, к мощным передающим лампам подводятся десятки и даже сотни киловатт. Лампы применяются не только для усиления, но и для модуляции колебаний. И все это сложное устройство приводится в действие — «раскачивается» при помощи задающего генератора, обычно небольшого лампового генератора, сходного с теми каскадами с обратной связью, которые мы рассматривали. Отсюда уже видно, какую важную роль играет в радиотехнике метод возбуждения колебаний с помощью обратной связи. Но этим далеко не исчерпывается значение метода самовозбуждения колебаний с помощью обратной связи. Ламповые генераторы с самовозбуждением применяются для самых разнообразных целей — в технике, при различных измерениях и т. д. Ламповые генераторы малой мощности, применяемые для различных вспомогательных целей, получили название гетеродинов.

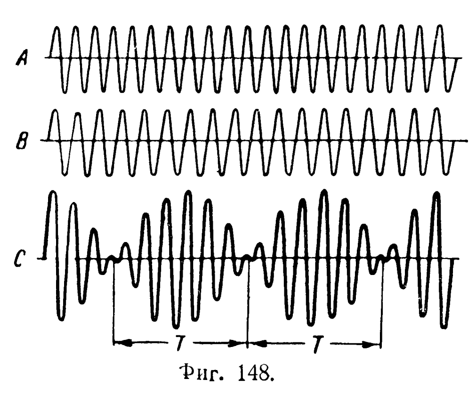
При различных применениях ламповых генераторов часто бывает необходимо изменять частоту тех колебаний, которые он создает. Задача эта решается очень просто. Так как генератор создает колебания той частоты, на которую настроен его колебательный контур, то для изменения частоты создаваемых колебаний требуется изменять настройку колебательного контура генератора. Таким образом, изменение частоты колебаний гетеродина производится тем же методом, как и изменение настройки регенератора — обычно с помощью переменного конденсатора.

С одним из важных применений гетеродина мы встретимся в следующем параграфе.

68. СУПЕРГЕТЕРОДИН

В рассмотренных нами схемах приемников применяется только один тип преобразователя колебаний — детектор, выделяющий из модулированных колебаний высокой частоты колебания низкой частоты. В соответствии с этим и усиление в таких приемниках осуществляется либо на высокой частоте (частота принимаемой станции), либо на низкой (звуковой) частоте. Но как уже указывалось, возможность усиления колебаний на одной высокой частоте ограничена сравнительно небольшими пределами (из-за опасности возникно-

вения паразитных колебаний), особенно, если эта частота лежит в коротковолновой части радиовещательного диапазона, а тем более в области коротких волн. С другой стороны, единственный пригодный для этих частот тип усилителя — это резонансный. Но необходимость перестройки всех контуров усилителя при переходе от одной станции к другой очень усложняет его конструкцию и обращение с ним. Обе эти трудности могут быть устранены одним и тем же методом — преобразованием всех различных частот принимаемых станций к одной и той же фиксированной частоте. Эта частота выбирается достаточно низкой, чтобы на ней можно было получить достаточно большое усиление, и на эту фиксированную частоту настраивается резонансный усилитель. Этот именно метод и применен в супергетеродинных приемниках. Та фиксированная частота, которая получается в супергетеродине, называется обычно п р о м е ж у т о ч н о й ч а с т о т о й, и поэтому супергетеродинные приемники иногда называют приемниками с усилением промежуточной частоты.



Фиг. 148.

Способ, который применяется для преобразования всех принимаемых частот к одной промежуточной, состоит в следующем. Если взять два колебания различной частоты и сложить их, то в результате получаются сложные колебания, так называемые б и е н и я. Графически этот процесс сложения колебаний изображен на фиг. 148. Кривые *A* и *B* соответствуют двум гармоническим колебаниям разной частоты, а кривая *C* изображает биения, полученные в результате сложения этих двух колебаний *A* и *B*. В кривой *C* легко заметить новый период — именно период биений, который на фигуре отмечен буквами *T*. Сразу видно, что период этих биений больше, чем период каждого из слагаемых колебаний, и следовательно, частота биений меньше, чем частота каждого из слагаемых колебаний. Частота биений равна разности частот двух слагаемых колебаний. Чем больше разность

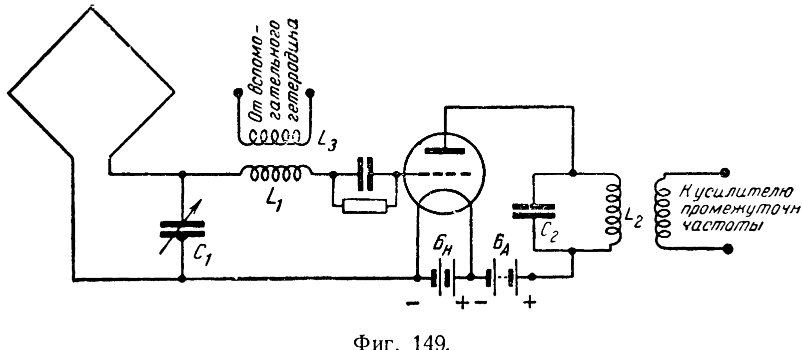
между этими частотами, тем больше частота биений; поэтому, выбрав достаточно большую разницу между слагаемыми частотами, мы можем получить биения высокой частоты. Так, например, если мы возьмем слагаемые частоты в 1 000 *кгц* (волна 300 *м*) и 1 200 *кгц* (волна 250 *м*), то биения, полученные в результате сложения этих колебаний, будут иметь частоту в 200 *кгц*, что соответствует волне 1 500 *м*. Однако, полученные биения хотя и имеют уже период, соответствующий промежуточной частоте, но они не представляют собой гармонических колебаний промежуточной частоты. Чтобы получить эти колебания, нужно биения продетектировать. Так же как из модулированных колебаний при детектировании выделяется частота модуляции, из биений при детектировании выделяются колебания разностной частоты (равной разности двух слагаемых частот). Этот метод преобразования частот называют методом смешения или методом гетеродинирования.

Как же осуществить этот метод при приеме радиостанций? Пусть кривая *А* (фиг. 148) изображает колебания, приходящие в контур приемника от передающей станции. Создадим в нашем приемнике вспомогательные колебания высокой частоты (кривая *В* на фиг. 148) при помощи специального гетеродина и подберем частоту гетеродина так, чтобы разность частот колебаний *А* и *В* составляла, например, 200 *кгц*. Сложим полученные колебания и пропустим их через детекторную лампу. Тогда в контуре, включенном в анод этой лампы и настроенном на разностную частоту, мы получим эту разностную частоту в 200 *кгц*, что соответствует волне в 1 500 *м*. Полученную промежуточную частоту можно усилить с помощью обычного усилителя высокой частоты, который в этом случае называется усилителем промежуточной частоты. Для осуществления всех этих операций служит схема, изображенная на фиг. 149. Приходящие колебания улавливаются приемной антенной или рамкой [1], которая при помощи конденсатора C_1 настраивается на эти колебания. Через катушку L_1 эти колебания попадают на сетку детекторной лампы. Но предварительно в катушке L_1 на них накладываются вспомогательные колебания от катушки гетеродина L_3. Контур L_2C_2 в аноде детекторной лампы

[1] Так как супергетеродинные приемники отличаются большой чувствительностью, то для них обычно применяют небольшую антенну или рамку.

настроен на разностную частоту. Полученные в результате детектирования колебания разностной частоты направляются из этого контура для дальнейшего усиления в усилитель промежуточной частоты.

Рассмотренная нами упрощенная схема супергетеродина сейчас редко применяется на практике. В современных супергетеродинах задачи возбуждения вспомогательных колебаний и детектирования биений выполняет одна и та же лампа специального устройства. Применение этой смесительной лампы в супергетеродине будет рассмотрено ниже.



Фиг. 149.

Мы рассмотрели преобразование немодулированных приходящих колебаний; сделано это было для упрощения. При приеме модулированных колебаний, поскольку колебания гетеродина имеют постоянную амплитуду, в полученных биениях, а также и в колебаниях промежуточной частоты изменения амплитуды будут соответствовать изменениям амплитуды приходящих колебаний, т. е. колебания промежуточной частоты будут промодулированы так же, как и приходящие колебания. Чтобы превратить эти модулированные колебания в звуковые, их нужно еще раз пропустить через детектор. Поэтому колебания промежуточной частоты после усиления подводятся ко второму детектору и уже после второго детектора полученные звуковые колебания направляются в телефон или в усилитель низкой частоты. Усилитель промежуточной частоты содержит один, два, а иногда и три каскада резонансного усиления, обычно на настроенных трансформаторах. Нередко настраиваются не одна, а обе обмотки трансформаторов, чем достигается более выгодная в отношении избирательности форма резонансных кривых. Такие трансфор-

маторы с обеими настроенными обмотками получили название **полосовых фильтров**. Все фильтры при помощи «полупеременных» конденсаторов или магнетитовых сердечников раз навсегда настраиваются на промежуточную частоту таким образом, чтобы весь усилитель промежуточной частоты давал достаточное усиление и возможно большую избирательность.

Частота колебаний гетеродина может изменяться в нужных пределах, и всякий раз она подбирается так, чтобы вместе с приходящими колебаниями она давала одну и ту же фиксированную промежуточную частоту. Таким образом, при настройке супергетеродина не контуры резонансного усиления настраиваются на приходящую частоту, а частота усиливаемых колебаний «подгоняется» под постоянную настройку резонансного усилителя. В этом заключается одно из важнейших преимуществ супергетеродина, так как вместо настройки многих междуламповых контуров приходится настраивать только один контур гетеродина и, следовательно, настройка очень упрощается. Она сводится к двум операциям: настройке контура рамки на приходящие колебания и настройке гетеродина на нужную частоту. Для того чтобы получить фиксированную промежуточную частоту при любой волне, лежащей в диапазоне приемника, очевидно, нужно, чтобы диапазон гетеродина был сдвинут по отношению к диапазону контура приемника на частоту, равную промежуточной частоте.

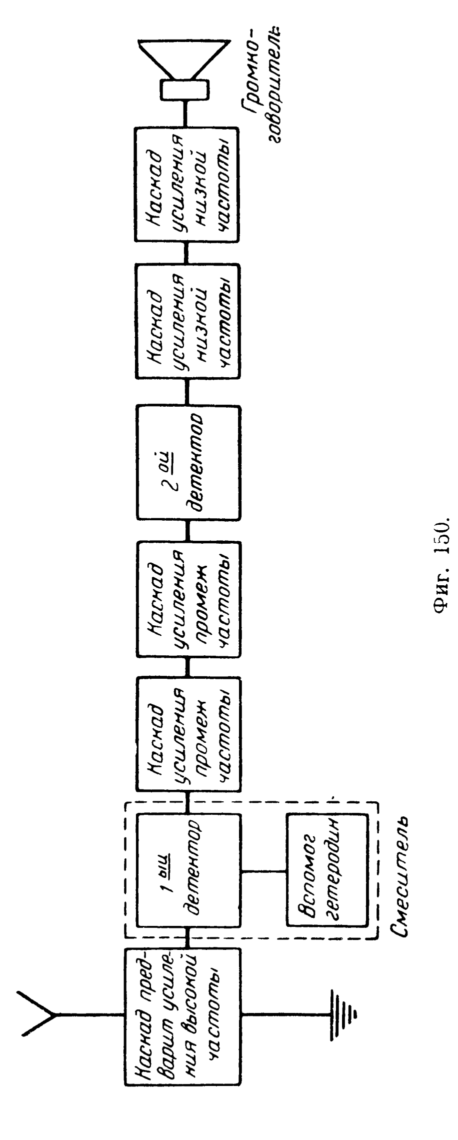
Промежуточная частота выбирается обычно в пределах от 500 до 200 *кгц* (что соответствует волнам от 600 до 1 500 *м*) и на соответствующую величину диапазон гетеродина должен отличаться от диапазона контура приемника.

69. ОСОБЕННОСТИ СУПЕРГЕТЕРОДИНОВ

Резонансное усиление промежуточной частоты само по себе обеспечивает большую чувствительность и остроту настройки супергетеродина, а преобразование частоты приходящих колебаний еще более повышает его избирательность, потому что близко лежащие волны принимаемой и мешающей станций после гетеродинирования «раздвигаются». Поясним на примере, как это происходит. Пусть промежуточная частота равна 200 *кгц*, принимаемая частота — 1 000 *кгц*, а частота мешающей станции — 1 010 *кгц*, т. е. принимаемая и мешающая станции отличаются по частоте на 1%. Чтобы

получить с колебаниями принимаемой станции промежуточную частоту в 200 *кгц*, нужно настроить гетеродин на частоту в 800 *кгц*. Тогда мешающая станция даст с гетеродином промежуточную частоту в 210 *кгц* (1 010—800=210). После гетеродинирования сигналы мешающей станции будут отличаться по частоте от сигналов принимаемой станции уже на 5%. Благодаря гетеродинированию волны принимаемой и мешающей станций «разошлись», относительная расстройка увеличилась и отстройка от мешающей станции этим облегчается.

Однако, повышая общую избирательность приемника, преобразование частоты открывает возможность проникновения сигналов мешающей станции, если эта станция работает на некоторой «опасной» частоте. Дело в том, что при смешении получается одна и та же промежуточная частота, если частота приходящих сигналов на нужную величину больше или меньше частоты гетеродина. Поясним это на том же числовом примере, который рассмотрен выше. Если гетеродин настроен на частоту 800 *кгц*, а промежуточная частота равна 200 *кгц*, то колебания нужной промежуточной частоты получаются как от станции, работающей на частоте 1 000 *кгц*, так и от станции, работающей на частоте 600 *кгц*. В обоих случаях разность с частотой гетеродина будет равна 200 *кгц*. Однако, при приеме станции, работающей на частоте 1 000 *кгц*, на эту же частоту настраивается входной контур приемника и поэтому сигналы мешающей станции, работающей на частоте 600 *кгц*, будут слабее принимаемой. Но избирательности входного контура недостаточно, чтобы полностью преградить путь сигналам мешающей станции к сетке первого детектора. А после преобразования мешающая станция даст ту же промежуточную частоту, что и принимаемая, и дальше сигналы ее будут также усиливаться. Словом, супергетеродин, обладая вообще большой избирательностью, по отношению к этой «зеркальной частоте» не обладает почти никакой избирательностью. Чтобы устранить опасность такой зеркальной помехи, нужно повысить избирательность приемника еще до первого детектора. С этой целью в супергетеродинах применяется обычный каскад предварительного резонансного усиления на высокой частоте, так называемый «преселектор». Таким образом, типичная блок-схема супергетеродина имеет вид, изображенный на фиг. 150. В современных супергетеродинах обычно, как указывалось, первый



Фиг. 150.

детектор и вспомогательный гетеродин объединены в одном смесительном каскаде.

В супергетеродине без предварительного усиления высокой частоты при настройке на станцию необходимо настраивать два контура (входной и гетеродина). В схеме же с предварительным усилением число настраивающихся контуров увеличивается до трех, так как прибавляется настройка контура резонансного усилителя. Чтобы можно было осуществлять настройку одной ручкой, применяют сдвоенные или строенные конденсаторы переменной емкости. Благодаря тому, что даже при наличии предварительного усиления в супергетеродине имеется всего лишь три контура с переменной настройкой, упрощается задача перекрытия широкого диапазона волн. Супергетеродин легко сделать «всеволновым», т. е. перекрыть не только весь радиовещательный диапазон длинных волн, но и ту часть коротковолнового диапазона, которая отведена для радиовещательных станций.

Все отмеченные преимущества супергетеродина перед приемниками без преобразования частоты «приемниками прямого усиления» привели к тому, что все современные высоко-

качественные ламповые приемники делаются по супергетеродинной схеме. Общее усиление, которое может дать хороший супергетеродинный приемник, огромно. При напряжении на входе в несколько микровольт супергетеродин дает на выходе напряжение, достаточное для работы громкоговорителя, т. е. в несколько вольт. Таким образом, приходящие сигналы усиливаются в супергетеродине в несколько миллионов раз!

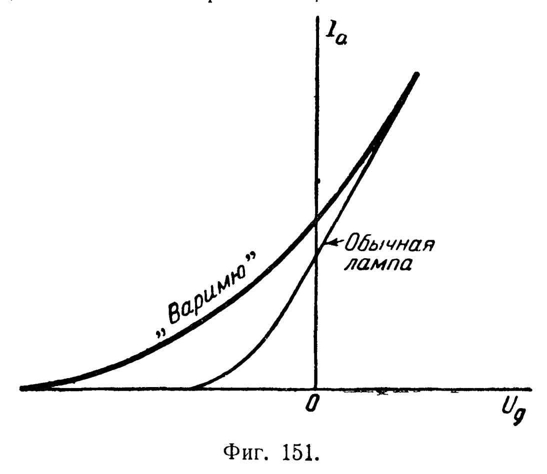
70. РЕГУЛИРОВКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Высокочувствительный приемник, позволяющий принимать далекие станции, вместе с тем, конечно, должен давать возможность принимать и местные или близкие станции. Напряжение сигналов на входе приемника в этих двух случаях отличается в тысячи раз. И если приемник дает такое усиление, что при приеме слабых станций на детекторе получаются напряжения порядка вольта (при меньших напряжениях детектор почти не детектирует), то при приеме в тысячи раз более сильных сигналов близких станций уже до детектора возникнут такие высокие напряжения, что неизбежны перегрузка ламп и сильные искажения. Поэтому необходимо изменять чувствительность приемника в соответствии с изменением силы принимаемых сигналов. Сказанное относится ко всякому чувствительному приемнику, но в наибольшей степени к самому чувствительному из них — супергетеродину. Поэтому на примере супергетеродина мы рассмотрим вопрос о регулировке чувствительности приемников.

Регулировку чувствительности нужно осуществлять так, чтобы при этом не ухудшалось другое важное качество приемника — его избирательность. Следовательно, для понижения усиления нельзя расстраивать приемник или «портить» его контуры. Наиболее целесообразный путь это — изменение усиления, даваемого лампами, за счет изменения параметров самих ламп. Но усиление, даваемое лампой, зависит от крутизны ее характеристики. Поэтому, перемещая рабочую точку из области, где крутизна характеристики велика, в область, где она мала, можно изменять усиление, даваемое каскадом. Перемещение рабочей точки осуществляется путем задания смещающего напряжения на сетки ламп. Однако, в обычных лампах крутизна характеристики в рабочей области меняется незначительно (работать на загибах характеристики нельзя, так как возникнут искажения). Поэтому для целей регулировки чувствительности были созданы спе-

циальные лампы с сильно растянутой характеристикой, крутизна которой в рабочей области меняется в широких пределах. Это было достигнуто путем применения сеток специальной формы. Такие лампы получили название ламп в а р и м ю (т. е. ламп с переменным μ).

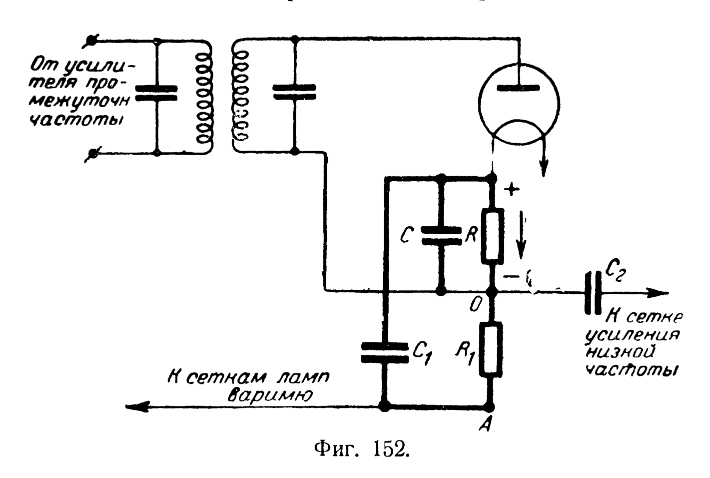
Типичная характеристика лампы варимю на фиг. 151 сопоставлена с характеристикой обычной лампы. Смещая рабочую точку влево (с помощью отрицательного сеточного смещения), можно в широких пределах изменять усиление



Фиг. 151.

каскадов, работающих на лампах варимю. Такие лампы устанавливают в каскадах усиления промежуточной частоты (а иногда и в каскаде предварительного усиления) супергетеродина. Изменяя (с помощью потенциометра) смещающее напряжение на сетках всех этих ламп, можно в широких пределах изменять чувствительность приемника. Однако, такая ручная регулировка чувствительности очень осложняет перестройку приемника. Кроме того, даже при приеме одной станции сила сигналов может существенно изменяться из-за изменения условий распространения радиоволн. Это так называемые фединги (замирания приема), особенно сильные при приеме коротких волн. Успевать за этими быстрыми изменениями силы сигналов при ручной регулировке чувствительности совершенно невозможно. Поэтому применяется а в т о м а т и ч е с к а я р е г у л и р о в к а ч у в с т в и т е л ь н о с т и (АРЧ), принцип которой состоит в следующем. Как мы

видели, при детектировании сигналов на нагрузке детектора помимо напряжений звуковой частоты появляется и некоторое постоянное напряжение, величина которого растет по мере увеличения силы сигнала. Это постоянное напряжение и используется в качестве смещающего напряжения на сетки ламп варимю. Чем сильнее принимаемые сигналы, тем больше смещающее напряжение и тем меньше усиление приемника. В результате, даже при очень больших изменениях силы сигнала на входе приемника, напряжение, подводимое



Фиг. 152.

к детектору, меняется только в небольших пределах, так как изменение силы сигнала компенсируется соответствующим изменением усиления приемника.

Простейшая схема автоматической регулировки чувствительности (фиг. 152) может быть осуществлена в виде небольшого дополнения к обычной схеме диодного детектора, которая была приведена на фиг. 137а. Постоянный ток в цепи диода направлен от катода к аноду (электроны во внешней цепи движутся от анода к катоду) и создает в точке *0* некоторое отрицательное напряжение по отношению к катоду. Это напряжение и используется в качестве смещающего для ламп варимю. Чтобы на сетки этих ламп не попадала звуковая частота, присутствующая в цепи детектора (это вызвало бы искажения), смещающее напряжение подается через большое сопротивление R_1, зашунтированное на катод большой емкостью C_1. Эта емкость практически представляет

собой короткое замыкание для токов звуковой частоты и поэтому в точке A переменного напряжения звуковой частоты не будет. С другой стороны, так как сопротивление R_1 велико, то напряжение звуковой частоты, существующее в точке 0, не замкнется через конденсатор C_1 на катод и будет попрежнему попадать через разделительный конденсатор C_2 на сетку лампы усиления низкой частоты.

Рассмотренная нами схема автоматической регулировки чувствительности редко применяется в таком виде. Она дополняется и усложняется для того, чтобы обеспечить более совершенную регулировку чувствительности. Однако, на ней легче всего выяснить самую идею автоматической регулировки чувствительности.

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ
МНОГОСЕТОЧНЫЕ ЛАМПЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

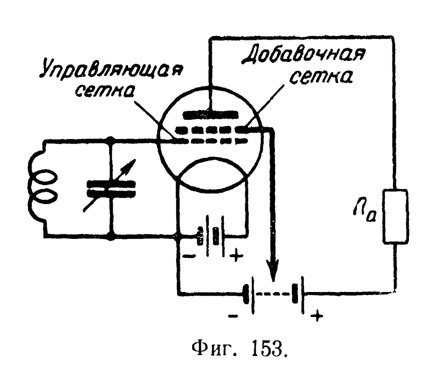
71. ЭКРАНИРОВАННАЯ ЛАМПА (ТЕТРОД)

Мы уже указывали, что усилительные возможности лампы определяются ее добротностью G, равной произведению крутизны характеристики S на усилительную постоянную μ.

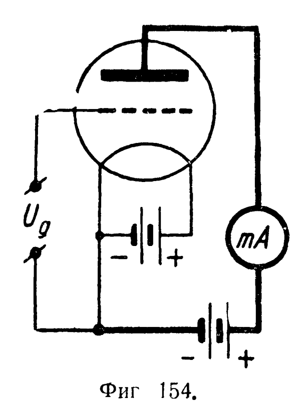
Добротность триода не может быть сделана достаточно большой. Но этого легко достигнуть, если ввести в лампу еще один четвертый электрод — добавочную сетку.

Добавочная сетка, расположенная вблизи анода, находится под некоторым положительным напряжением, равным напряжению анодной батареи или несколько меньшим, т. е. включается так, как указано на фиг. 153.

Чтобы выяснить роль второй сетки в этой схеме, нам нужно вернуться несколько назад и рассмотреть явление анодной реакции, о котором мы раньше не говорили. Рассмотрим мы это явление для простоты на одном частном примере. Представим себе трехэлектродную лампу, включенную так, что анод лампы присоединен непосредственно к анодной батарее (фиг. 154). Пусть напряжение анодной батареи составляет 80 *в* и при этом в анодной цепи ток равен 4 *ма,* когда напряжение на сетке равно нулю. Семейство анодных характеристик для этой лампы приведено на фиг. 155. Так как анодная батарея присоединена непосредственно к аноду ламп, напряжение на аноде будет оставаться постоянным. Следовательно, при изменении напряжения на сетке изменения величины анодного тока будут определяться характеристикой, соответ-

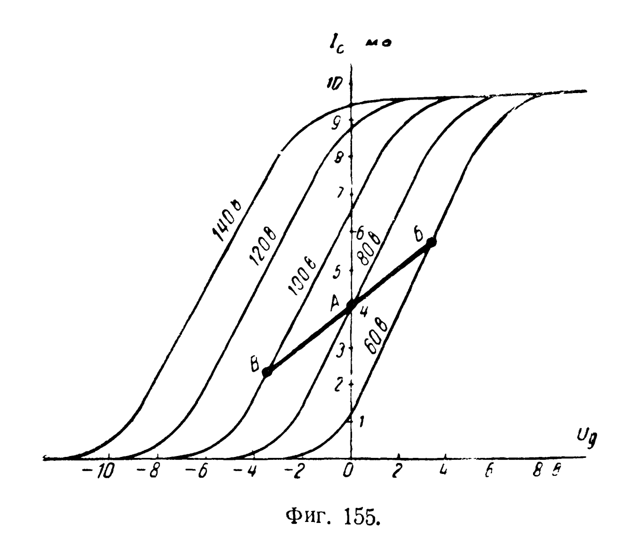


Фиг. 153.



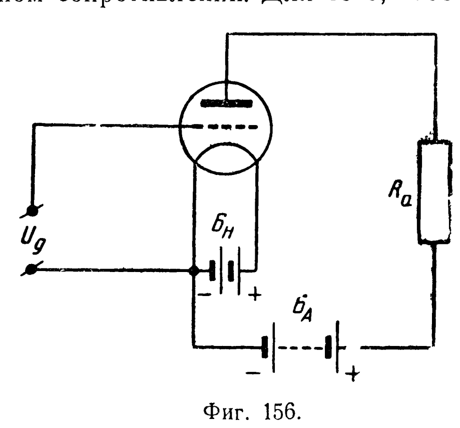
Фиг 154.

ствующей напряжению в 80 *в*. Если мы увеличим до 100 *в* или уменьшим до 60 *в* напряжение анодной батареи, то изменения анодного тока при изменении напряжения на сетке будут определяться другими характеристиками нашего семейства. Но в каждом случае напряжение на аноде будет оставаться постоянным, и следовательно, все изменения анодного тока будут определяться одной из характеристик семейства.



Фиг. 155.

Совершенно иная картина получится, если мы включим в анодную цепь сопротивление R_a величиною, например, в 10 тыс. *ом* (фиг. 156). Анодный ток, проходящий через это сопротивление, будет создавать некоторое падение напряжения на концах сопротивления, и следовательно, на анод лампы будет попадать не все напряжение анодной батареи, а лишь некоторая часть его — разность между полным напряжением анодной батареи и падением напряжения в анодном сопротивлении. Для того, чтобы рассматривать те же характеристики, как и раньше, мы повысим анодное напряжение настолько, чтобы на анод лампы попадало полностью 80 *в*. Легко сосчитать, каково должно быть при этом напряжение анодной батареи. При токе в 4 *ма* в анодном сопротивлении, равном 10 000 *ом*, получается падение напряжения в 40 *в*; если мы присоединим к аноду батарею в 120 *в*, то из этих 120 *в* 40 *в* погасится на анодном сопротивлении и 80 *в* попадет на анод лампы. Следовательно, при этих условиях лампа будет находиться в режиме, соответствующем точке *А* на фиг. 155. Однако, если мы изменим напряжение на сетке, то точка, представляющая состояние лампы, не останется на этой характеристике, так как при изменении напряжения на сетке изменится величина анодного тока, а вместе с тем изменится падение напряжения в анодной цепи, а с ним и напряжение на аноде лампы. Представим себе, что мы приложили к сетке такое положительное напряжение, что анодный ток возрос до 6 *ма*. Тогда, очевидно, падение напряжения в анодном сопротивлении увеличится до 60 *в* и на аноде лампы останется только 60 *в*, следовательно, режим лампы будет соответствовать точке *Б* на фиг. 155, так как точка должна переместиться на характеристику, соответствующую анодному напряжению в 60 *в*. Наоборот, если мы приложим к сетке такое отрицательное напряжение, что анодный ток уменьшится до 2 *ма*, падение напряжения на анодном



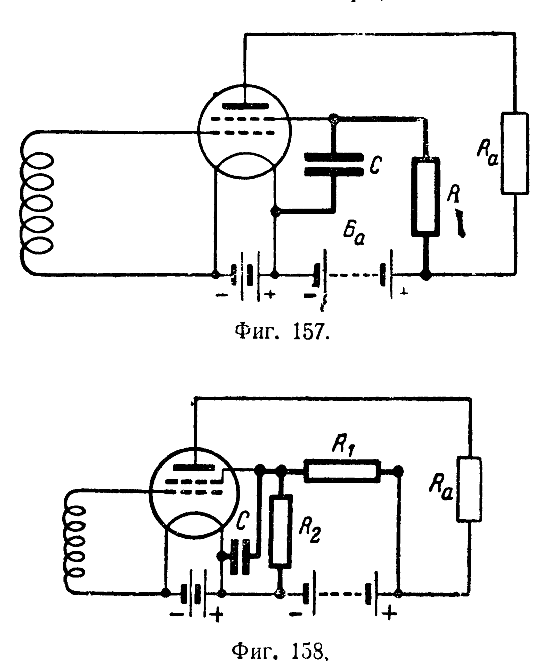
Фиг. 156.

сопротивлении будет составлять только 20 *в* и на анод лампы придется напряжение в 100 *в*. Точка, представляющая режим лампы, переместится в точку *В* на фиг. 155. Совершенно ясно, что при изменении сеточного напряжения в пределах примерно от минус 4 до плюс 4 *в* точка, представляющая режим лампы, будет перемещаться по прямой линии, соединяющей точки *В, А* и *Б*. Эта линия, изображающая действительное изменение режима лампы при изменении напряжения на сетке в том случае, когда в анодную цепь включено сопротивление R, называется «динамической характеристикой» лампы в отличие от тех «статических характеристик», которыми мы пользовались до сих пор. Ясно, что крутизна динамической характеристики всегда будет меньше, чем крутизна статической характеристики.

Таким образом мы выяснили, что наличие сопротивления в анодной цепи вызывает изменение напряжения на аноде лампы, а эти изменения, в свою очередь, вызывают уменьшение крутизны анодной характеристики. Это явление и называется анодной реакцией.

Если вместо трехэлектродной лампы мы применим лампу с добавочной сеткой, то электроны будут почти полностью пролетать через эту сетку и попадать на анод. Между тем, так как добавочная сетка находится ближе к нити, чем анод, то величина анодного тока определяется, главным образом, напряжением на этой сетке, а не напряжением на аноде. Но напряжение на добавочной сетке всегда остается постоянным, так как эта сетка присоединена непосредственно ко всей или к части анодной батареи. Вследствие этого изменения напряжения на аноде, вызванные изменением величины падения напряжения в анодном сопротивлении, не будут вызывать сколько-нибудь заметного изменения величины анодного тока. Следовательно, присутствие добавочной сетки, включенной так, как указано на фиг. 153, почти полностью устраняет явление анодной реакции и вызываемое ею уменьшение крутизны динамической характеристики. Для того, чтобы в цепи добавочной сетки не получалось значительного тока, ее включают обычно на напряжение, несколько меньшее, чем напряжение на аноде. В тех случаях, когда анодная батарея не секционирована и включить добавочную сетку непосредственно на часть батареи невозможно, применяют одну из схем включения, приведенных на фиг. 157 и 158. В первой схеме в цепь добавочной сетки включается значительное сопротивление R порядка сотен тысяч ом.

Так как в этой цепи проходит некоторый ток, то падение напряжения, вызванное этим током, понизит напряжение на сетке и ток в цепи добавочной сетки будет меньше, чем при включении ее непосредственно на плюс анодной батареи. Другой способ состоит в делении анодного напряжения при помощи высокоомного потенциометра, составленного из со-



Фиг. 157.

Фиг. 158.

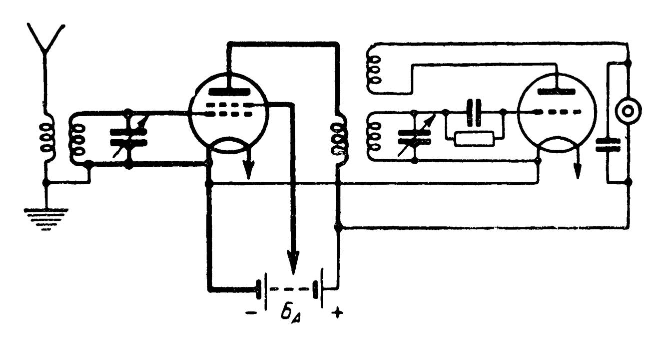
противлений R_1 и R_2 (фиг. 158). В обоих случаях конденсатор *C*, закорачивающий добавочную сетку по высокой частоте на катод, служит для того, чтобы на сетке не возникало переменных напряжений вследствие изменений силы тока в цепи сетки.

Итак, применение лампы с добавочной сеткой повышает добротность лампы, но вместе с тем повышает и внутреннее сопротивление лампы, так как оно обратно пропорционально произведению проницаемости рабочей и добавочной сетки. Это произведение всегда гораздо меньше, чем проницаемость в обычной трехэлектродной лампе, так как проницаемость — это дробь, всегда много меньшая единицы. Поэтому внутрен-

нее сопротивление четырехэлектродной лампы гораздо больше, чем внутреннее сопротивление обычной трехэлектродной лампы. В существующих типах четырехэлектродных ламп оно составляет сотни тысяч ом и во всяком случае не опускается ниже ста тысяч ом. Но как нам уже приходилось указывать, между внутренним сопротивлением лампы и сопротивлением внешней нагрузки должно существовать определенное соответствие. Поэтому четырехэлектродная лампа требует, чтобы сопротивление внешней нагрузки было очень велико. Для достижения этой цели приходится в схемах усиления высокой частоты применять хорошие колебательные контуры (чем меньше затухание колебательного контура, тем больше его кажущееся сопротивление токам той частоты, на которую этот контур настроен). В схемах же усиления низкой частоты по причинам, о которых мы будем говорить ниже, четырехэлектродные лампы вообще не дают удовлетворительных результатов и для этой цели не применяются.

Помимо повышения добротности лампы добавочная сетка при соответствующем расположении электродов может дать еще одно очень большое преимущество. Как мы знаем, наличие емкости между сеткой и анодом в обычной трехэлектродной лампе представляет собой весьма существенный недостаток в тех случаях, когда лампа применяется для усиления высокой частоты. Если в цепи сетки и анода такой лампы включены колебательные контуры, то достаточно самой незначительной емкостной связи между анодом и сеткой для того, чтобы в схеме возникли колебания. В коротковолновой части радиовещательного диапазона для возникновения колебаний достаточно бывает емкости в несколько сантиметров, а такие емкости между сеткой и анодом обычной трехэлектродной лампы всегда существуют и устранить их никакими изменениями в расположении выводов и ножек не удается. Это обстоятельство препятствует применению трех электродной лампы в многокаскадных усилителях высокой частоты, в которых собственные колебания возникают особенно легко. Даже при наличии одного каскада высокой частоты междуэлектродная емкость часто служит причиной возникновения колебаний и затрудняет работу с приемником. Единственный путь для устранения этого явления — это устранение электростатического влияния анода на сетку путем экранирования. Роль этого электрического экрана может как раз выполнить добавочная сетка. Эта сетка располагается таким образом чтобы она экранировала не только самый анод

от рабочей сетки, но и края этих обоих электродов. Вместе с тем выводы от анода и управляющей сетки делаются так, чтобы электростатическая связь между выводами и ножками была минимальной. Обычно экранирующая сетка подводится к четвертой ножке лампы, к которой в трехэлектродных лампах присоединяется анод, а анод экранированной лампы подводится к специальному контакту, укрепленному на верхушке баллона лампы. Все эти меры позволяют ослабить электростатическое влияние анода на управляющую сетку в десятки



Фиг. 159.

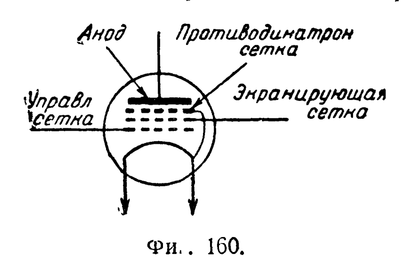
раз. Применяя экранированную лампу, необходимо, конечно, и во внешних цепях полностью устранить емкостные связи между цепью сетки и анода, т. е. применять и внешнее экранирование. Лампы с внутренним экраном обычно монтируются таким образом, что внешний экран служит продолжением внутреннего и это позволяет почти полностью устранить емкостные связи между рабочей сеткой и анодом и применять без всяких затруднений резонансное усиление высокой частоты не только в одном, но даже в нескольких каскадах. Именно для этой цели — усиления высокой и промежуточной частоты — и применяются четырехэлектродные лампы с экранной сеткой — так называемые высокочастотные тетроды. Способ включения в схему экранной сетки тетрода был нами указан выше. В остальном же способ включения тетрода ничем не отличается от включения триода и схемы усиления высокой частоты с тетродами ничем не отличаются от рассмотренных нами выше схем на триодах. Для примера на фиг. 159 приведена схема каскада предварительного усиления высокой частоты на экранированной лампе в регенеративном приемнике.

72. ПЕНТОДЫ

Между условиями работы лампы в качестве усилителя высокой и низкой частоты есть одно существенное различие. В то время как при усилении высокой частоты дело всегда сводится к усилению слабых сигналов (на высокой частоте усиление применяется только для того, чтобы получить амплитуды, необходимые для работы детектора), при усилении низкой частоты задача заключается в усилении уже сравнительно больших амплитуд и получении на выходе значительных мощностей, т. е. значительных напряжений. Это последнее обстоятельство — необходимость получения больших напряжений на выходе — и делает обычную двухсеточную лампу, несмотря на ее хорошие усилительные качества, непригодной для оконечного усиления. Затруднение, которое возникает при этом, связано с той же анодной реакцией, о которой нам уже приходилось говорить. Вследствие анодной реакции напряжение на аноде лампы при работе изменяется; действующее напряжение на аноде будет равно напряжению анодной батареи минус то напряжение, которое образуется на зажимах анодной нагрузки (репродуктора или трансформатора). Чем больше будет это переменное напряжение, тем ниже будет наименьшее значение, до которого падает анодное напряжение; поэтому при усилении больших мощностей напряжение на аноде лампы изменяется в широких пределах. При этом обычно бывает, что напряжение на аноде в некоторые моменты меньше, чем напряжение на экранной сетке (ближайшей к аноду). Тогда начинает играть роль новое явление, о котором мы пока ничего не говорили, но с которым нам сейчас необходимо познакомиться. Это явление называется в т о р и ч н о й э м и с с и е й и состоит в следующем. Электроны, движущиеся к аноду, приобретают во время движения значительную скорость и, ударяясь об анод, отдают ту энергию движения, которой они обладали. Энергия эта частью превращается в тепло (поэтому при сильном анодном токе анод накаливается), а часть ее при известных условиях может пойти на то, чтобы выбить из поверхности анода новые, так называемые «вторичные», электроны. Это явление — выделение анодом вторичных электронов под влиянием электронной бомбардировки — и называется вторичной эмиссией. В том случае, когда напряжение на аноде больше, чем напряжение на других электродах лампы, вторичная эмиссия не играет существенной роли, ибо все вторич-

ные электроны, выбитые с поверхности анода, притягиваются анодом и возвращаются обратно.

Совсем иная картина получится, если напряжение на аноде будет меньше, чем напряжение на расположенной поблизости экранной сетке. Вторичные электроны, выбитые из анода, будут притягиваться экранной сеткой, в результате чего в ее цепи появится заметный ток, а анодный ток уменьшится (так как анодный ток будет равен разности между числом электронов, попавших за секунду на анод, и числом вторичных электронов, выбитых с поверхности анода). Появление заметного тока, образованного вторичными электронами, носит название динатронного эффекта. Вследствие динатронного эффекта характеристики лампы искажаются и вместе с тем возникают и искажения в передаче.

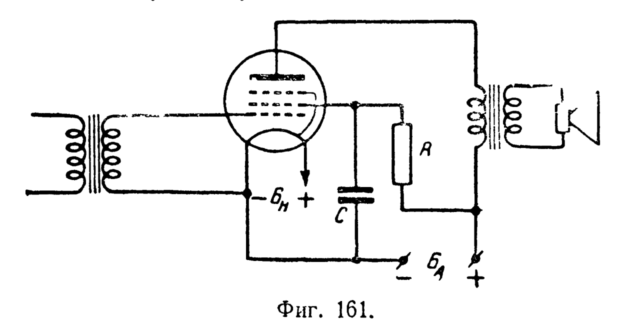


Фиг. 160.

От этих недостатков свободны специальные трехсеточные, т. е. пятиэлектродные, лампы—пентоды. Третья, так называемая противодинатронная, сетка в пентоде располагается между экранной сеткой и анодом и присоединяется непосредственно к катоду внутри самой лампы (фиг. 160). Эта третья сетка служит электрическим экраном между анодом и экранной сеткой и экранирует вторичные электроны от действия высокого напряжения экранной сетки. Поэтому вторичные электроны снова возвращаются на анод, и динатронный эффект тем самым устраняется. Пентод позволяет, таким образом, полностью использовать для усиления низкой частоты и получения больших мощностей все те преимущества, которыми обладает двухсеточная лампа.

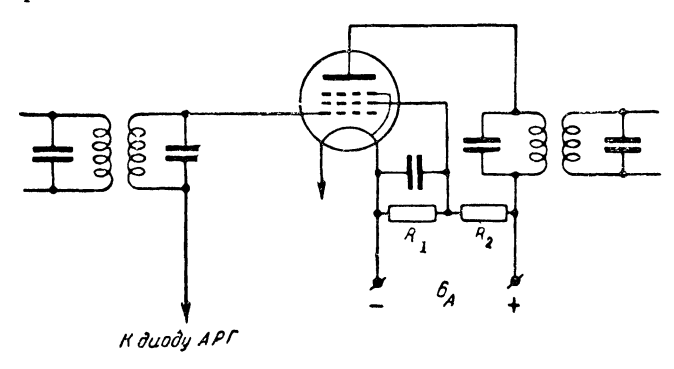
Экранная сетка пентода включается на постоянное положительное напряжение, несколько меньшее, чем напряжение на аноде, т. е. так же, как и в тетроде. Таким образом схемы включения пентодов принципиально ничем не отличаются от схем включения тетродов. Для примера на фиг. 161 приведена схема оконечного каскада усиления низкой частоты на пентоде. Сопротивление R служит для понижения напряжения на экранной сетке. Большая емкость C закорачивает экранную сетку по звуковой частоте, т. е. препятствует возникновению на экранной сетке переменных напряжений, которые могли бы быть созданы изменениями силы тока в цепи сетки.

Применение пентода дает значительные преимущества не только при усилении низкой частоты, но и при высокочастотном усилении. Существуют специальные высокочастотные



Фиг. 161.

пентоды, применяемые в каскадах усиления высокой и промежуточной частоты. Схема включения высокочастотного пентода принципиально ничем не отличается от схем включения



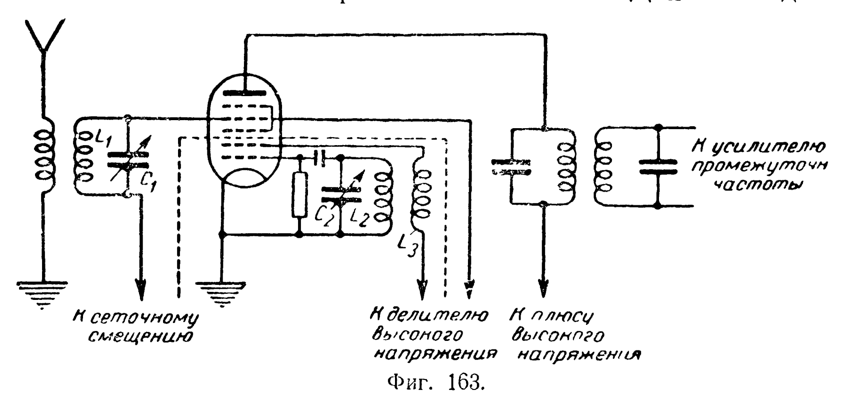
Фиг. 162.

тетродов. На фиг. 162 для примера приведена схема каскада усиления промежуточной частоты на высокочастотном пентоде. R_1— R_2 —высокоомный делитель напряжения для подачи на экранную сетку части анодного напряжения.

73. СМЕСИТЕЛЬНАЯ ЛАМПА

Применение пентодов позволяет удовлетворительно решить задачу усиления как высокой и промежуточной, так и низкой частоты. Однако, для преобразования частоты в супергетеро-

дине целесообразно применять еще более сложную специальную смесительную лампу с пятью сетками — пентагрид. Схема смесителя с пентагридом приведена на фиг. 163. Пентагрид в схеме смесителя представляет собой как бы две отдельные лампы, помещенные в один баллон и связанные общим электронным потоком. Первая из этих «отдельных ламп» служит для возбуждения колебаний и заменяет отдельный гетеродин. Во второй «отдельной лампе» смешиваются приходящие колебания и колебания гетеродина и из них выделяются колебания разностной частоты. Для наглядно-



Фиг. 163.

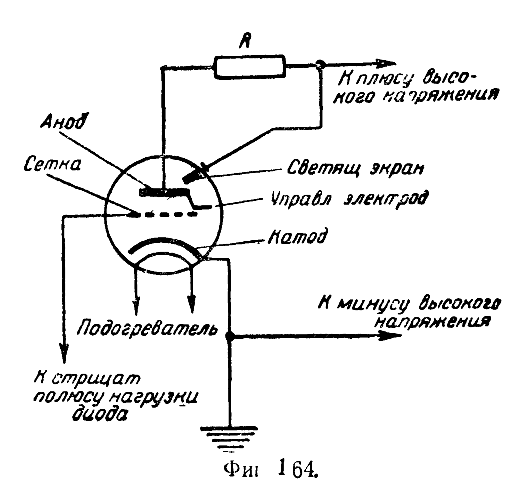
сти эти две «отдельные лампы» разделены на схеме пунктиром. Первые две сетки (считая от катода) служат соответственно сеткой и «анодом» гетеродина и включаются как обычный триод в схему с обратной связью. Первая сетка (считая от катода), играющая роль сетки гетеродина, присоединена к колебательному контуру гетеродина L_2C_2. Вторая сетка («анод» гетеродина) присоединена к катушке обратной связи L_3. Благодаря наличию обратной связи в лампе возникают колебания, и электронный ток, проникающий через вторую сетку, переносит эти колебания в область «второй лампы». Приходящие сигналы подводятся к четвертой сетке. Третья и пятая сетки соединены вместе и находятся под постоянным положительным напряжением. Они играют роль экранов между «первой и второй лампами», с одной стороны, и управляющей сеткой и анодом «второй лампы»,—с другой. Таким образом, «вторая лампа» аналогична экранированной лампе. Так как колебания электронного тока, созданные «первой лампой», изменяют параметры «второй

лампы», то в ней происходят смешение приходящих колебаний и колебаний гетеродина и образование колебаний разностной частоты. Контур в аноде смесителя, настроенный на эту разностную частоту, выделяет из анодного тока колебания разностной частоты. Дальше эти колебания подаются на вход усилителя промежуточной частоты.

Применение смесительной лампы не только упрощает конструкцию супергетеродина (тем, что сокращает число ламп), но и устраняет ряд трудностей, которые возникают при работе схем с отдельным гетеродином. Поэтому в современных супергетеродинах для преобразования частоты обычно применяется пентагрид.

74. ИНДИКАТОР НАСТРОЙКИ

В заключение рассмотрим кратко устройство и схему включения электронного индикатора настройки, так называемого «магического глаза» (хотя, строго говоря, он не относится к числу многосеточных ламп). Магический глаз представляет собой триод, в верхней части которого расположен металлический колпачок, покрытый веществом, светящимся под действием электронной бомбардировки. Катод триода доходит до колпачка и так как этот последний находится под высоким положительным напряжением, то электроны с катода летят на колпачок и вызывают его свечение. От



Фиг 164.

центра к краю колпачка проходит дополнительный управляющий электрод в форме ножа, соединенный с анодом триода. Включение магического глаза в схему индикатора настройки приведено на фиг. 164. Когда через триод проходит ток, напряжение на аноде триода и управляющем электроде вследствие падения на сопротивлении R меньше, чем на колпачке. Поэтому управляющий электрод оказывается под отрицательным напряжением по отношению к колпачку и, отталкивая электроны от ближайших к нему частей колпачка, вызывает появление темного сектора на экране колпачка. Ширина этого темного сектора тем меньше, чем ближе напряжение на управляющем электроде к напряжению на колпачке. Поэтому, когда анодный ток триода уменьшается, уменьшается и падение напряжения на сопротивлении R, напряжение на управляющем электроде приближается к напряжению колпачка, и тень на экране суживается. Если к сетке триода подвести отрицательное напряжение, получающееся на детекторе под действием приходящих сигналов, то по мере увеличения этого напряжения анодный ток триода будет уменьшаться, и темный сектор на экране «глаза» будет суживаться. При точной настройке на станцию отрицательное напряжение, снимаемое с диода, будет наибольшим, и темный сектор наименьшим. Индикатор настройки позволяет при настройке на станцию, положение которой на шкале известно, избавиться от тех шумов и тресков, которые обычно сопровождают перестройку приемника. Для этого уменьшают громкость до минимума или даже вовсе выключают репродуктор и ведут настройку по индикатору. После того как приемник настроен, увеличивают громкость до нормальной.

Рассмотренными нами типами ламп не исчерпывается все разнообразие ламп, существующих в настоящее время. Однако, большинство этих ламп представляет собой различные комбинации основных типов ламп, рассмотренных нами. Поэтому мы не будем описывать всех этих комбинаций. Зная устройство и свойства основных типов ламп, читатель легко разберется в любой из этих комбинаций.

75. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы познакомились с процессами радиопередачи и радиоприема и рассмотрели те основные элементы, из которых состоит всякий радиолюбительский приемник. Конечно, схемами радиоприемников, приведенными в книге, далеко не исчер-

пывается все то разнообразие приемников, с которыми радиолюбителю предстоит столкнуться на практике. Но все же, пока радиолюбителю придется иметь дело с обычным любительским приемником, он легко узнает в нем все те элементы, которые были описаны в книге, и поэтому без труда разберется в схеме и устройстве радиоприемника. Именно такова основная цель настоящей книги: дать радиолюбителю те начальные теоретические сведения, которые необходимы для понимания принципов устройства и работы радиолюбительского приемника.

Однако, в своей практической деятельности радиолюбитель неизбежно столкнется не только с радиоприемником, но и с другими техническими приборами, в которых применяются методы радиотехники. Дело в том, что радио получило сейчас самое широкое распространение не только в виде индивидуального радиолюбительского приемника, но и в виде радиоузлов и сетей проволочной радиофикации. Большое развитие сейчас получила радиолюбительская работа на коротких и ультракоротких волнах, при которой помимо приемников радиолюбителю приходится иметь дело и с передатчиками. Кроме того, методы радио применяются сейчас для самых разнообразных практических целей — в звуковом кино, в различных устройствах для автоматизации производственных процессов в промышленности, для целей сигнализации и связи на транспорте, в медицинской аппаратуре, во всевозможных приборах для измерений и испытаний и т. д. Во всех этих случаях применяются те же самые методы возбуждения, усиления и детектирования электрических колебаний, которые мы рассматривали выше. Конечно, сама аппаратура, которая служит для указанных целей, по своему устройству и виду часто очень существенно отличается от устройства радиоприемника. Но в основе всех этих приборов лежит применение той же электронной лампы и тех же самых явлений, которые были нами рассмотрены выше. Поэтому те теоретические сведения, которые радиолюбитель почерпнет из этой книги, помогут ему разобраться в устройстве и действии различных радиоприборов, применяемых в самых разнообразных областях практики. Таким образом, даже та небольшая теоретическая подготовка, которую дает эта книга, не только поможет радиолюбителю в его практической работе с радиоприемником, но и расширит его технический горизонт, облегчит ему ознакомление с той разнообразной техникой, которая захватывает все более и более широкие области практики и

с которой поэтому почти каждому в той или иной мере приходится сталкиваться.

Особенно важную роль играет радио в военном деле. Оно не только является одним из основных средств связи в войсках, морском и воздушном флоте, но применяется в разнообразнейших областях военной техники. Наиболее важным применением радио в военном деле является радиолокация.

В основе принципа радиолокации лежит явление отражения радиоволн от различных предметов, которое впервые наблюдал изобретатель радио А. С. Попов во время своих опытов по радиосвязи между морскими судами. Он обнаружил, что корпус, мачты и винты корабля заметно отражают радиоволны. Это явление и позволяет при помощи радиоволн обнаруживать различные объекты, находящиеся на пути распространения волн. Передатчик радиолокатора посылает короткие радиосигналы, которые не возвращаются назад в приемник локатора, если на пути распространения локатора нет никаких отражающих предметов. Если же на пути радиосигналов находятся какие-либо отражающие объекты, например, самолет, то сигналы передатчика локатора, отразившись от этого объекта, возвращаются обратно и попадают в его приемник. По времени, которое затрачивает радиосигнал на распространение до отражающего объекта и обратно, можно определить расстояние до этого объекта, так как скорость распространения радиоволн точно известна. А определив (при помощи направленных антенн) и направление, по которому приходят отраженные сигналы, можно определить положение отражающего объекта. Так как радиоволны очень слабо (по сравнению с световыми) поглощаются облаками и туманами, то методы радиолокации позволяют обнаруживать отражающие объекты не только в темноте, но и в облаках и туманах, т. е. практически в любых условиях. Но для того, чтобы по отражению радиоволн можно было достаточно точно определять положение отражающего объекта, прежде всего нужно, чтобы продолжительность отдельных сигналов, посылаемых радиолокатором, была по возможности мала, так как только при этих условиях можно точно измерить время, прошедшее между посылкой сигнала и его возвращением обратно. Далее необходимо, чтобы антенны, принимающие отраженные сигналы, были остронаправленными, так как только при этих условиях можно точно определить направление, из которого приходят радиосигналы. Удовлетворить обоим этим условиям — малой продолжительности радиосигналов и острой направленности

антенн, можно только применяя очень короткие волны, длиной порядка метра и даже сантиметров Поэтому в связи с потребностями радиолокации за последние годы очень сильно развилась техника дециметровых и сантиметровых волн Методы, применяемые для возбуждения сантиметровых волн, т. е. колебаний частотой в тысячи мегагерц, для усиления и преобразования этих колебаний, конечно, существенно отличаются от тех, которые применяются в случае более длинных волн и которые были рассмотрены в нашей книге. Однако, для ознакомления с этой специальной областью техники — техникой сантиметровых волн те теоретические сведения, которые содержит наша книга, все же будут полезны.

Радиолокация яляется одной из важнейших, но далеко не единственной областью военной техники, в которой применяются средства радиотехники. Методы радио позволяют, например, осуществить не только сигнализацию и связь под водой (между подводными лодками в погруженном состоянии), но и обнаруживать подводные и надводные суда, определять их положение, находясь под водой и т. д. Вся эта область военно-морской техники, так называемая гидроакустика, основана на применении ультраакустических колебаний, т. е очень быстрых механических колебаний сверхзвуковой частоты, которые хорошо распространяются в воде. Конечно, гидроакустика принципиально отличается от радиотехники тем, что в ней применяются механические колебания, распространяющиеся в воде, а не радиоволны, которые могут распространяться в свободном пространстве. Однако, поскольку гидроакустика имеет дело с быстрыми колебаниями, лежащими в области радиочастот, все методы возбуждения, преобразования, усиления и обнаружения этих колебаний совершенно аналогичны тем, которые применяются в радиотехнике и с которыми знакомит наша книга. Эти примеры можно было бы продолжить. Так, радиотехнические методы широко применяются сейчас в приборах для управления артиллерийским огнем, определения положения целей, артиллерийской разведки и т д. Широкое применение находят методы радиотехники и в минном деле—в приборах для обнаружения мин, для взрыва мин на расстоянии и т. д. Словом, почти нет области военной техники, в которой в той или иной мере не применялись бы методы радио. И конечно, очень важно иметь хотя бы небольшую теоретическую подготовку в области радио. Такая подготовка облегчит ознакомление с военной техникой, поможет лучше ее освоить.

Сделать первые шаги в этом направлении поможет радиолюбителю настоящая книга. Но, конечно, на этих первых шагах радиолюбитель не должен и не захочет остановиться.

«Азбука радиотехники»—это ведь только первая книга радиолюбителя. Ознакомившись по ней с основами радио, радиолюбитель должен продолжать изучение радиотехники не только практически, но и теоретически, углублять и расширять свои познания с тем, чтобы стать квалифицированным радиолюбителем с широким техническим кругозором и способным быстро овладеть всякой новой областью применения радио, когда это окажется нужным для Родины, для дела строительства коммунизма.

Редактор *В. А. Бурлянд* Техред *М. И. Серебрянников*

Сдано в набор 15/IV 1948 г. Подписано к печати 10/I 1948 г.
Тираж 100 000 экз. (первый завод 75.000) Бумага 84/108$^{1}/_{32}$.
Уч.-авт. л. 1[illegible],9. Объем 16 п. л.
Знаков в печ. листе 39750
А-07489. Зак. 1[illegible]92.

Типография Госэнергоиздата, Москва, Шлюзовая наб., 10.

Цена 10 руб.